

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra automatizační techniky a řízení

Využití bezdrátových XBee modulů pro přenos dat z technologie

Using Wireless XBee Modules for Transfer Data from Technological Process

Student:
Vedoucí diplomové práce:

Bc. Jiří Galia
Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Galia**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3902T004 Automatické řízení a inženýrská informatika
Téma: **Využití bezdrátových XBee modulů pro přenos dat z technologického procesu**
Using Wireless XBee Modules for Transfer Data from Technological Process

Zásady pro vypracování:

1. Navrhněte a realizujte interface pro komunikaci mezi dvěma nebo více PC s využitím vybraných bezdrátových XBee modulů včetně jejich konfigurace.
2. Do infrastruktury datové sítě zapojte dostupné XBee komponenty (Wall Router, ConnectPort X4) a vytvořte programovou podporu pro systém Control Web 6.
3. Navrhněte a realizujte laboratorní úlohu využívající dostupné XBee komponenty s využitím navržené infrastruktury - vytvořte praktickou úlohu.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte směr dalšího řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

BÍLÝ, R., CAGAŠ, P. & AJ. 1999. Control Web 2000. *Průvodce systémem pro tvorbu a nasazení aplikací reálného času*. 1. vydání. Praha: Computer Press, 1999. 382 s. ISBN 80-7226-258-0.
DIGI. 2011. *Manuály k jednotlivým Xbee modulům*. Dostupné z [www: <http://www.digi.com>](http://www.digi.com).
JANEČEK, J. 1993. *Distribuované systémy*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1993.
BOYER, S. A. 1999. SCADA: *Supervisory Control and Data Acquisition, 2nd Edition*. New York (USA): ISA, 1999. 215 p. ISBN 1-55617-660-0.
Diplomové práce realizované na katedře 352 v letech 2005 – 2006.
VLACH, J. 1997. *Počítačová rozhraní, přenos dat a řídicí systémy*. Praha, BEN-technická literatura, 1997, ISBN 80-85940-17-4.
WHITT, M. D. 2003. *Successful Instrumentation and Control Systems Design*. New York (USA): ISA, 2003. 360 p. ISBN 1-55617-844-1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012

prof. Ing. Jiří Tůma, CSc.
vedoucí katedry

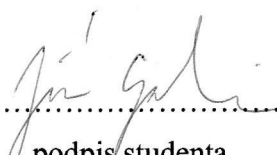


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

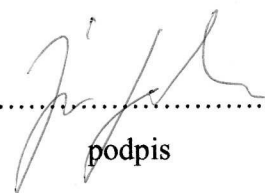
V Ostravě: 21. května 2012


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3.).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít toto dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své diplomové práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21. května 2012

.....

podpis

Bc. Jiří Galia
Štramberská 1124/22
742 21 Kopřivnice

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

GALIA, J. *Využití bezdrátových XBee modulů pro přenos dat z technologie: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2012, 55 s. Vedoucí práce: Škuta, J.

Diplomová práce se zabývá produkty firmy Digi International, které umožňují bezdrátový přenos dat. Produkty, jenž byly použity v této práci jsou: moduly XBee Series 2, XBee Wall Router a ConnectPort X4. Jako komunikační standard mezi těmito komponenty je použit ZigBee, který je založen na standardu IEEE 802.15.4. V této práci byly vytvořeny univerzální moduly, které umožňují prostřednictvím XBee komponent nahradit sériovou linku RS-232, přenášet data mezi dvěma PC a řídit bezdrátově technologický proces prostřednictvím jednočipového procesoru PIC. Řízení a monitorování technologického procesu v počítačích je zprostředkováno SCADA/MMI systémem Control Web 6.1.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

GALIA, J. *Using Wireless XBee Modules for Transfer Data from Technological Process: Master Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2012, 55 p. Thesis head: Škuta, J.

The master thesis deals with products of Digi International comp., which enable wireless data transfer. The products which have been used in this thesis are: XBee Series 2, XBee Wall Router and ConnectPort X4 moduli. ZigBee is used as a communication standard among these components. It is based on IEEE 802.15.4 standard. In the thesis, universal modules have been created. By using XBee components they enable to replace serial RS-232 link, transfer data between two PC and run wireless technological process by single-chip PIC processor. The run and monitoring of the technological process from PCs is conveyed by Control Web 6.1 SCADA/MMI system.

OBSAH

strana

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ..... | 8 |
| ÚVOD..... | 10 |
| 1 ZIGBEE-BEZDRÁTOVÝ KOMUNIKAČNÍ STANDARD..... | 11 |
| 1.1 Vývoj a užití standardu ZigBee..... | 11 |
| 1.2 Struktura komunikačního standardu ZigBee..... | 12 |
| 1.2.1 Standard IEEE 802.15.4..... | 13 |
| 1.2.2 Standard ZigBee | 15 |
| 1.3 Topologie sítě..... | 15 |
| 1.4 Zabezpečení přenosu | 17 |
| 2 PRODUKTY FIRMY DIGI INTERNATIONAL..... | 18 |
| 2.1 XBee moduly | 18 |
| 2.1.1 Modul XBee Series 2..... | 19 |
| 2.1.2 XBee moduly a jejich firmware..... | 20 |
| 2.1.3 Komunikace s XBee moduly prostřednictvím PC..... | 21 |
| 2.1.4 Příkazy v AT rozhraní..... | 21 |
| 2.1.5 API rozhraní..... | 22 |
| 2.2 Program X-CTU firmy Digi International | 22 |
| 2.3 Programovatelné moduly | 23 |
| 2.4 Connect Port X4..... | 24 |
| 2.5 Wall Router | 26 |
| 3 SPUŠTĚNÍ A KONFIGURACE ZIGBEE SÍTĚ S XBEE MODULY..... | 28 |
| 3.1 Konfigurace XBee modulů a vytvoření ZigBee sítě | 28 |
| 3.1.1 Konfigurace a start koordinátora | 28 |
| 3.1.2 Připojení koncového zařízení nebo směrovače do sítě | 28 |
| 3.2 Možnosti směrování dat v ZigBee síti mezi XBee moduly | 29 |
| 3.3 Nastavení digitálních vstupů/výstupů v XBee modulech | 29 |
| 3.4 Sériový přenos dat mezi XBee moduly..... | 30 |
| 4 KOMUNIKACE MEZI PC PROSTŘEDNICTVÍM ZIGBEE SÍTĚ | 31 |
| 4.1 Realizace ZigBee sítě prostřednictvím XBee modulů | 31 |
| 4.2 Realizace ZigBee sítě prostřednictvím produktů firmy Digi International..... | 32 |
| 4.3 Popis vytvořených komunikačních modulů | 33 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.4 | Popis vytvořených aplikací v programu Control Web..... | 34 |
| 4.4.1 | Program Control Web 6.1 | 34 |
| 4.4.2 | Aplikace umožňující komunikaci mezi počítači..... | 35 |
| 4.4.3 | Aplikace umožňující konfiguraci XBee modulů | 36 |
| 4.5 | Vzniklé problémy při práci s XBee moduly | 37 |
| 5 | NÁVRH LABORATORNÍCH ÚLOH..... | 39 |
| 5.1 | Popis vytvořených univerzálních modulů..... | 39 |
| 5.1.1 | Vysílací DPS s XBee modulem | 39 |
| 5.1.2 | Modul s jednočipovým procesorem PIC | 40 |
| 5.1.3 | Modul s integrovaným obvodem MAX232CPE | 41 |
| 5.2 | Popis vytvořeného komunikačního protokolu | 43 |
| 5.3 | Řídicí úloha simulované reálné soustavy | 44 |
| 5.4 | Monitorovací úloha logických stavů v domácnosti | 46 |
| 5.5 | Nahrazení kabelové sériové linky RS-232 | 46 |
| | ZÁVĚR | 48 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 50 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 53 |

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ

| | |
|---------|---|
| AD | Analogo-číslicový převodník (Analog to Digital Converter) |
| AES | Šifrovací standard (Advanced Encryption Standard) |
| AIO | Analogový vstup/výstup (Analog Input/Output) |
| ASCII | Zkratka pro americký standardní kód pro výměnu informací (American Standart Code for Information Interchange) |
| APS | Pomocná aplikační podvrstva (Application Support Layer) |
| APL | Aplikační vrstva (Application Layer Protokol) |
| CAP | Perioda, ve které se zařízení připojuje k síti na základě CSMA-CA (Conection Accesss Period) |
| CFP | Interval, ve kterém zařízení v síti ZigBee volně soutěží o přístup k médiu (Contention Free Period) |
| CRC | Cyklický redundantní součet (Cyclic Redundancy Check) |
| CSMA-CA | Metoda s vícenásobným přístupem k síti a nasloucháním nosné (Carrier Sense Multiple Acces With Collision Avoidance) |
| CTS | Volno k vysílání (Clear To Send) |
| DA | Číslicovo-analogový převodník (Digital to Analog Converter) |
| DIA | Zařízení pro integraci aplikací (Device Integration Application) |
| DPS | Deska plošných spojů (Printed Circuit Board) |
| DSSS | Metoda bezdrátového přenosu dat (Direct Sequence Spread Spectrum) |
| DIN | Vstupní data (Data In) |
| DIO | Digitální vstup/výstup (Digital Input/Output) |
| DOUT | Výstupní data (Data Out) |
| FCS | Kontrolní znaky rámců (Frame Check Sequecnce) |
| FFD | Zařízení s plnou funkcí (Full-Function Device) |

| | |
|--------|--|
| GTS | Interval s rezervovanými časovými sloty pro prioritní přenosy (Guaranteed Time Slots Interval) |
| IO | Integrovaný obvod (Integrated Circuit) |
| MAC | Linková vrstva (Media Access Control) |
| NWK | Síťová vrstva (Network Layer) |
| PHY | Fyzická vrstva (Physical Layer Protokol) |
| PWM | Pulsně šířková modulace (Pulse Width Modulation) |
| QPSK | Kvadrurní fázová modulace (Quadrature Phase Shift Keying) |
| RFD | Zařízení s redukovanou funkcí (Reduced-Function Device) |
| RF | Rádiové vlny (Radio Frequency) |
| RTS | Žádost o vysílání (Request To Send) |
| SCADA | Supervizní řízení a sběr dat (Supervisory Control And Data Acquisition) |
| TCP/IP | Sada síťových protokolů (Transmission Control Protokol/Internet Protocol) |
| USB | Univerzální sériová sběrnice (Universal Serial Bus) |
| ZDO | ZigBee objekty (ZigBee Device Objekt) |
| bps | Přenosová rychlost (baudů za sekundu) |
| f | Frekvence [Hz] |
| I | Proud [A] |
| l | Vzdálenost [m] |
| t | Teplota [°C] |
| U | Napětí [V] |

ÚVOD

V dnešním neustále se rozvíjejícím průmyslovém světě je velice důležité zajistit správnost přenášení digitálních dat v dostatečné rychlosti. Tento aspekt je podstatný nejen v praktické domácnosti a běžném životě, ale také ve výrobním průmyslu. Především průmysl je zatížen spousty rušivými vlivy, kde chyba v komunikaci mezi výrobními linkami může firmu stát obrovské částky. Do prostředí tohoto typu se hodí XBee moduly, které mají dostatečnou přenosovou rychlost a jsou odolné proti rušení.

Jelikož XBee moduly pracují se standardem ZigBee, bude se úvodní část této práce zabírat právě touto bezdrátovou komunikační technologií. Budou zde blíže popsány principy komunikace mezi prvky v síti ZigBee, OSI model standardu, zabezpečení komunikace a možné topologie sítě.

Následující kapitola bude pojednávat o produktech firmy Digi International a to nejprve o XBee modulech, které jsou určené pro bezdrátovou komunikaci v pásmu 2,4GHz. Budou zde blíže popsány jejich technické parametry, jak je správně nakonfigurovat tak, aby spolu začaly dva XBee moduly komunikovat v síti. Také jsou zde uvedeny možnosti přenosu dat mezi nimi pomocí jejich vstupů/výstupů a sériové komunikace. Mezi další produkty firmy Digi, které jsou v této práci použity, patří Connect Port X4 a Wall Router. Tyto komponenty se starají o řízení a směrování dat v ZigBee síti.

Dále diplomová práce popisuje první praktické experimenty s komponenty firmy Digi, vytvořené aplikace v programu Control Web 6.1 pro přenos dat mezi počítači a konfigurací XBee modulů. Po získání praktických zkušeností a ověření možnosti komponentů firmy Digi International byly navrženy a realizovány řídicí a monitorovací systémy, ve kterých jsou použity tyto komponenty a vytvořeny univerzální komunikační moduly.

1 ZIGBEE-BEZDRÁTOVÝ KOMUNIKAČNÍ STANDARD

Jedná se o bezdrátovou komunikační technologii, která je založená na standardu IEEE 802.15.4. Tato technologie umožňuje komunikaci mezi několika prvky (zařízeními) na vzdálenost několika stovek metrů s přenosovou rychlostí srovnatelnou se sériovou komunikací RS-232.

1.1 Vývoj a užití standardu ZigBee

Počátky standardu ZigBee můžeme vysledovat v prosinci roku 2004, kdy byla schválena první verze 1.0 jako nástavba fyzické a linkové vrstvy standardu IEEE 802.15.4. Tento standard bude více popsán v následující kapitole. Tato verze byla definována v pásmu ISM s přenosovou frekvencí 2,4GHz s celkem 16 kanály a rychlostí přenosu 250 kb/s. Dále byla rozšířena v pásmu ISM 868 MHz (pro jeden kanál 20kb/s) a pro USA pásmo 915 MHz (deset kanálů po 40kb/s). S odstupem času se v tomto standardu našlo několik nedostatků především v implementaci u rozsáhlých sítí obsahující větší množství zařízení. Toto si žádalo změnu, a proto v roce 2005 se začal připravovat nový standard, původně s označením ZigBee 1.1 a následně ZigBee 2006. Tato novější verze ZigBee především našla uplatnění ve vzniku (certifikaci) dalších pěti firemních komunikačních platforem s názvem Golden Units. V roce 2007 došlo k poslední úpravě tohoto standardu a zprvopočátku byla označována jako ZigBee 2007 a pod obchodním názvem se dále objevovala jako ZigBee PRO [Vojáček 2011].

Velkou předností standardu ZigBee od jiných bezdrátových komunikací je především ve velmi malých požadavcích na hardware a způsobem napájení, kde u vysílacích modulů stačí pouze baterie díky jejich velmi nízké spotřebě. Na úkor nízké spotřeby je omezena rychlost komunikace, ale to v použitých aplikacích nebrání jejich plynulému chodu. Pro pomalejší rychlosti komunikace jsou bezdrátové sítě ZigBee odolnější proti rušení a jsou nasazovány v běžném průmyslu. Díky svým specifickým vlastnostem nachází své pevné postavení v určitých aplikacích, které dané funkce vyžadují [Vojáček 2011].

Příklady užití:

- Řízení budov
- Bezdrátový přenos naměřených dat ze senzorů
- Zdravotnictví
- Sport
- Zabezpečovací systémy
- Bezdrátová komunikace

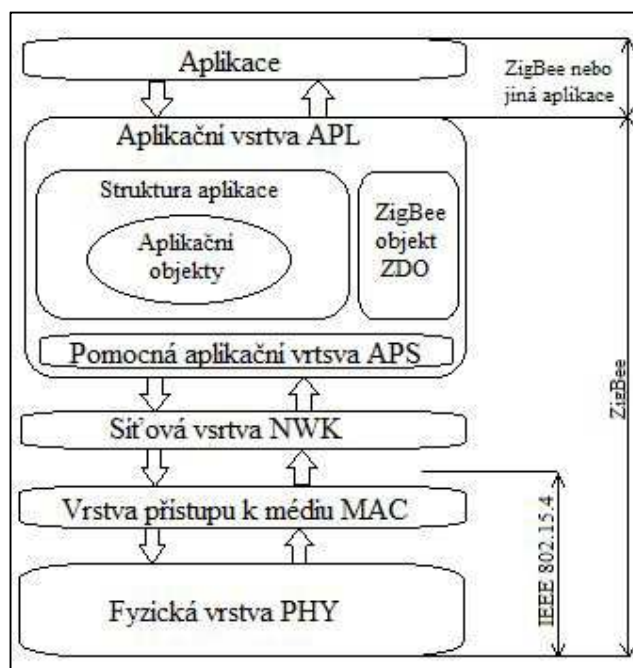
Tab. 1 Parametry ZigBee a jiných komunikačních standardů

| Obchodní jméno standardu | GPRS/GSM | Wi-fi 802.11b | Bluetooth 802.15.1 | ZigBee 802.15.4 |
|----------------------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|
| Aplikační zaměření | Široká oblast (hlas, data) | Web, Email | Náhrada za kabel | Monitorování, řízení |
| Systémové zdroje (paměť) | 16Mb a více | 1Mb a více | 250kb a více | 4Kb- 32Kb |
| Životnost baterii (dny) | 1- 7 | 0.5- 5 | 1- 7 | 100 - 1000 (i více) |
| Max. velikost prvků (počet uzlů) | 1 | 32 | 7 | 65 000 |
| Přenosový rychlost (KB/s) | 64- 128 | 11 000 | 720 | 20- 250 |
| Komunikační dosah (m) | 1 000 i více | 1- 100 | 1- 10 | 1- 100 |
| Výhody | Dosažitelnost, kvalita | Rychlost, flexibilita | Cena, jednoduchost | Spolehlivost |

1.2 Struktura komunikačního standardu ZigBee

Jako každý jiný komunikační standart i ZigBee je možné popsat svým specifickým OSI modelem, který je zobrazen na obr. 1. Tento model lze rozdělit do třech základních bloků a to:

- Standard IEEE 802.15.4
- ZigBee
- Aplikace (uživatel)



Obr. 1 OSI model standardu ZigBee

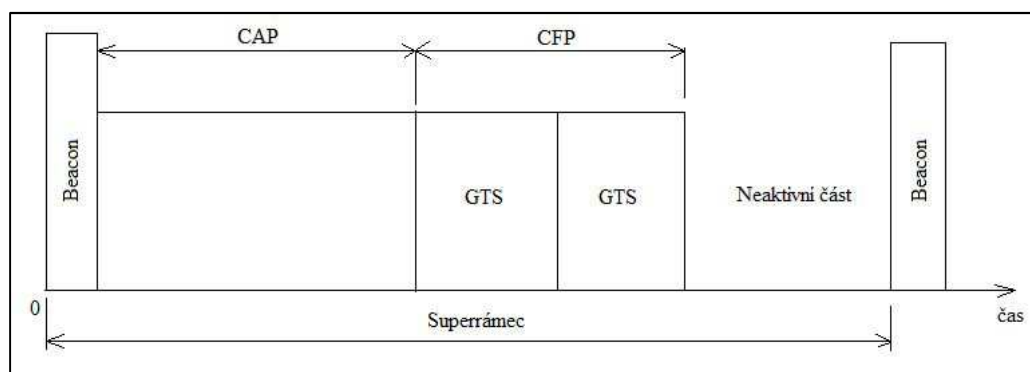
1.2.1 Standard IEEE 802.15.4

Jak jde vidět z obr. 1 standard IEEE 802.15.4 je implementován v rádiové části a nachází se na úrovni fyzické (PHY) a linkové (MAC) vrstvy. Ten určuje komunikační protokol a přenos datových rámců v síti. V tomto standardu jsou definovány čtyři základní typy komunikačních rámců, jenž se uplatňují buď ve vlastním přenosu užitečných datových informací, nebo k účelům sestavení a správě naší navržené sítě.

Jedná se o tyto rámce:

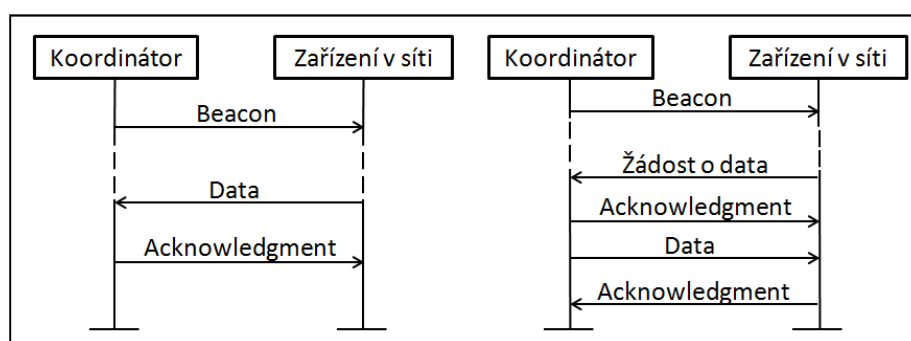
- Data Frame - rámec o velikosti 104 bytu a je určen k přenosu užitečné informace pro všechny datové přenosy.
- Acknowledgment Frame - rámec sloužící pro přenos potvrzující informace a jeho uplatnění je především na úrovni MAC. Tento rámec je vyslán *v mrtvém čase* ihned po přenosu paketů.
- MAC Command Frame - tento rámec je vyhrazen k centralizovanému konfigurování, nastavení a řízení v síti ZigBee.
- Beacon Frame – rámec je využíván k synchronizaci zařízení v síti v módu beacon enable.

V tomto standardu je možné také užít super rámec, jehož parametry jsou definovány koordinátorem sítě. Tento super rámec vyslán koordinátorem je ohraničen beacon rámcem a je rozdělen na 16 stejných slotů. První je vyslán beacon, jenž slouží pro synchronizaci a identifikaci celé sítě PAN a k popisu super rámce. Ve zbývajícím čase může kterékoliv zařízení komunikovat na základě přístupové metody CSMA-CA. Každý tento super rámec může mít aktivní a neaktivní část. Při aktivní části komunikuje koordinátor s příslušnou PAN adresou a zbylé neaktivní části mohou přejít do režimu spánku. Aktivní část lze dále rozdělit na oblast CAP a CFP. V době trvání CAP probíhá komunikace na základě CSMA-CA. Část CFP je složena z několika GTS slotů, které jsou vyhrazeny pro pomalá a prioritní zařízení. Vysílání super rámce se může u koordinátora nastavit v intervalech 15 ms až 252 s [Bradač 2011].



Obr. 2 Ukázka super rámce

Pomocí vhodné synchronizace beacon frame lze minimalizovat spotřebu zařízení s redukovanou funkcí (RFD) v síti. Díky tomu se zařízení vypne a probudí v přesně nastavenou dobu těsně před přenášením informace. Spotřeba zařízení se tímto může snížit na minimum. Přenos dat v ZigBee sítích je buď synchronizovaný, na základě vysílání beaconu a nebo bez synchronizace bez vysílání beaconu a zařízení se periodicky dotazují na nová data [Šedivý 2011].



Obr. 3 Způsob komunikace v synchronním módu

Datový signál, který je vysílán ze zařízení se moduluje metodou O-QPSK (čtyřfázové klíčování) a vzduchem se přenáší prostřednictvím DSSS. Jedná se tedy o podobnou technologii jako u WIFI sítí [Vojáček 2011].

1.2.2 Standard ZigBee

Struktura protokolů standardu ZigBee je navržena tak, aby zabírala maximálně 30kb v systémové paměti a zbytečně tak nezatěžovala málo výkonné jednočipové 8bitové mikrokontroléry. Je tedy asi třikrát úspornější než všeobecně známý standard Bluetooth. Standard ZigBee je implementován v OSI modelu nad standardem IEEE 802.15.4 a má v sobě definovanou síťovou vrstvu a strukturu pro aplikační vrstvu.

Síťová vrstva (NWK) se stará o připojování a odpojování prvků k síti. Dále musí zabezpečit přenos a směrování paketů od zdrojového místa k cílovému. Nastavuje také vlastnosti zařízení, zda je FFD nebo RFD.

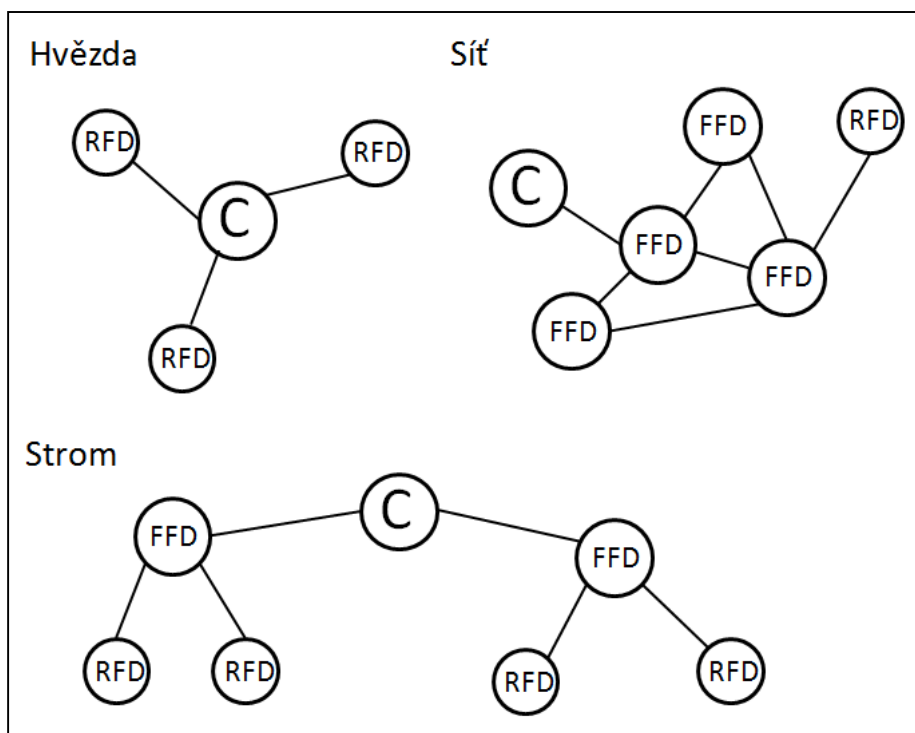
Aplikační vrstva (APL) se skládá z pomocné aplikační podvrstvy (APS), objektů ZigBee (ZDO) a uživatelských aplikačních objektů. Jejím úkolem je umožnit bezproblémovou komunikaci mezi jednotlivými aplikacemi, které jsou nebo mohou být provázány jedním uzlem sítě najednou. Aplikační podvrstva zprostředkovává propojení mezi aplikační vrstvou a vrstvou o stupeň níže tedy síťovou vrstvou. Objekt ZigBee je definován podle toho jakou roli v rámci sítě daný objekt zastává a jak jej definoval strůjce příslušné sítě. V síti ZigBee nalezneme tři základní prvky, jež tvoří síť a to koordinátor, směrovač a koncové zařízení [Bradač 2011].

Nad standardem ZigBee v OSI modelu je konkrétní aplikace nebo prostředí, ve které je ZigBee použita. Příklady užití jsou popsány v kapitole 1.1.

1.3 Topologie sítě

V síti ZigBee je adresování zprostředkováváno pomocí adresovacích kódů, které mohou být buď velikosti 64 nebo 16 bitů. Lokální adresa zkráceného adresovacího kódu dovoluje v jedné síti adresovat maximálně 65 535 zařízení což je pro běžnou praxi postačující. Každá nově založená síť musí mít své unikátní PAN ID o velikosti

16bitů, které rozlišuje případné jiné překrývající sítě standardu IEEE 802.15.4, že se nebudou rušit navzájem [Vojáček 2011].



Obr. 4 Možné topologie v síti ZigBee

Jak je zobrazeno na obr. 4 v síti ZigBee můžeme nalézt tři základní prvky. Ty se starají o celkový bezproblémový chod sítě a také, aby plnila funkci, pro kterou je navržena. Podle jejich funkčnosti v síti se dělí na plně funkční zařízení (FFD) a zařízení s redukovanou funkčností (RFD). Plně funkční zařízení může v síti zastat úlohu buď to koordinátora (C), který spravuje celou síť nebo směrovače, který se chová jako prostředník mezi koordinátorem a koncovým zařízením. Redukovaná zařízení mohou v síti zastat funkci pouze koncového zařízení. Velkou předností koncových zařízení je ta, že se mohou přepnout do režimu spánku a dle potřeby se z něj probudit. Tímto je možné tyto prvky napájet pouze z baterie. U plně funkčních zařízení toto není možné, jelikož pořád musí řídit a spravovat celou síť. Hlavní výhodou sítí ZigBee je, že konkrétní topologie není předem přesně definována a je možné další vhodnou kombinací prvků směrovačů a koncových zařízení libovolně síť rozšiřovat [Bradač 2011].

1.4 Zabezpečení přenosu

Během přenosu signálu může dojít k chybám, které mohou způsobit různé rušení z okolí atd. Pro odhalení takto vzniklých chyb se využívá takzvaného cyklického kódu (CRC nebo FCS), kdy každý vysílaný rámec je doplněn o zbytek po dělení polynomem. V sítích ZigBee má polynom následující tvar:

$$G_{16}(x) = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1 \quad (1)$$

Jako základní bezpečnostní mechanismus se používá buď to 64, nebo 128bitový kryptografický algoritmus AES. Ten zajišťuje síť od nezabezpečeného přístupu do sítě, tedy přístup na základě přístupových práv a využívá k tomu nesymetrické šifrování dat. Tento bezpečnostní algoritmus také chrání celou síť před nežádoucím odposlechem [Číka, Koton, Křivánek 2011].

2 PRODUKTY FIRMY DIGI INTERNATIONAL

V této kapitole budou popsány produkty firmy Digi International, které jsou v této práci použity. Tato firma byla založená v roce 1985 s původním názvem DigiBoard a v roce 1989 dostala název, jenž si drží doposud. Hlavní sídlo společnosti je ve městě Minnetonka v Minnesotě, USA. Společnost má několik poboček a distributoru po celém světě. Hlavním distributorem v naší zemi je firma MARCO WEIL [MARCO WEIL 2011].

2.1 XBee moduly

XBee moduly jsou určené pro bezdrátovou komunikaci v pásmu 2,4GHz. Tyto moduly umějí komunikovat s protokolem 802.15.4 a ZigBee. Implementované protokoly dovolují používat XBee moduly v aplikacích, které vyžadují rychlostně nenáročný přenos na vzdálenost desítek až stovek metrů při velmi nízkém proudovém odběru. Tento nízký odběr a tím šetření napájecí baterie je způsoben schopností modulů přecházet na různé pracovní režimy, které jsou: pohotovostní, vysílací, přijímací a konfigurační.

Každý modul může disponovat až 12 digitálními vstupy/výstupy, 4 analogovými vstupy a 2 PWM výstupy. V modulech je integrován 10bitový AD převodník s maximální vzorkovací frekvencí 1kHz, kde tato rychlost je sdílená mezi aktivní analogové vstupy. Navzorkovaná data se dále ukládají do paměti o velikosti 93Byte (vypsane hodnoty se můžou lišit dle konkrétního typu). V modulu nejsou zabudované zpětné DA převodníky, ale dá se využít dvou PWM výstupů. Díky těmto výstupům lze také odečítat informace o úrovni RF signálu.

Dalším parametrem čím se liší XBee moduly je jejich způsob vyvedení antény. A ta může být buď prutová, U, FL, RF konektor a integrovaná anténa. Jednotlivé typy antén jsou vyobrazeny na obr. 5 [Manuál XBee moduly].



Obr. 5 Typy antén XBee modulů [Digi 2011]

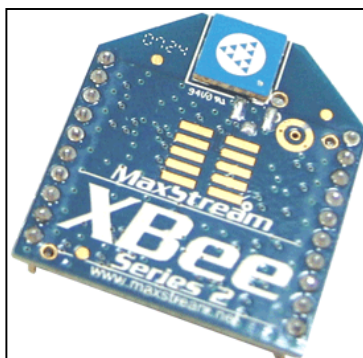
V současné době jsou v nabídce tři základní typy modulů, které se liší již zmíněným způsobem vyvedením antény, pouzdem a vnitřními parametry. První vyráběné moduly byly označovány pouze jako XBee. Jedna se o nejjednodušší verzi, která umí pracovat pouze se standardem 802.15.4 bez další implementace standardu ZigBee. Druhý vyráběný modul byl s označením XBee Series 2. Tento typ modulu bude více rozebrán v další kapitole. Jako poslední verze modulu XBee se objevil v nabídce s označením XBee-PRO. Tato verze se liší od svých předchůdců především ve vysílacím výkonu, který zrostl 60-ti násobně. V katalogu je uvedený dosah až 1,6 km při přímé viditelnosti a výkonu 60 mW. Tento značně zvýšený výkon se ovšem podepsal na vyšší spotřebě při vysílání, jenž se zvedl z 45mA na 215 mA. U dalších pracovních režimu změna příkonu není zas tak markantní [Černý 2009].



Obr. 6 XBee-PRO modul [Digi 2011]

2.1.1 Modul XBee Series 2

Tento modul je vylepšená verze od prvotního modulu s označením XBee. Již podporuje všechny standardy ZigBee a má také větší vysílací výkon. Podrobnosti s jeho parametry jsou uvedené v tab. 2.



Obr. 7 XBee modul Series 2 [Digi 2011]

Celá další práce, komunikace a tvorba bezdrátové sítě, která je popsána v této práci, bude prováděna právě s tímto modulem s integrovanou a vyvedenou anténou.

Tab. 2 Parametry XBee modulu Series 2 [Manuál XBee moduly]

| Vysílací parametry modulu | |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| Dosah uvnitř [m] | cca 40 |
| Dosah venku [m] | cca 100 |
| Výstupní výkon [mW] | 1,2- 2 |
| Rychlost přenosu dat [bps] | 250 000 |
| Rychlost sériového rozhraní [bps] | 120- 230400 |
| Citlivost příjmu [dBm] | 95 |
| Pracovní frekvence [GHz] | 2,4 |
| Síťové parametry modulu | |
| Podporované technologie | Standard- ZigBee |
| Počet kanálů | 16 |
| Adresační možnosti | PAN ID, cluster a ednpoints |
| Napájení a spotřeba modulu | |
| Napájecí napětí [V] | 2,1- 3,6 |
| Spotřeba při vysílání dat [mA] | 35- 40 |
| Spotřeba při příjímání dat [mA] | 38- 40 |
| Spotřeba při vypnutém přijímači [mA] | 15 |
| Spotřeba ve spánkovém režimu [μA] | < 1 |
| Obecné parametry modulu | |
| Rozměry [cm] | 2,438x 2,761 |
| Pracovní teplota [°C] | 40- 80 |

2.1.2 XBee moduly a jejich firmware

Pro XBee moduly existuje velká řada firmwarů, jejichž funkcionálnost různých sad není příliš odlišná. Tyto firmwary je možné nainstalovat do modulu pomocí programu X-CTU (ten bude popsán podrobněji v kapitole 2.2) dodávan firmou Digi International. Sady firmwaru je možné rozdělit do dvou základních skupin a to s označením *XB24* pro moduly XBee a XBee Series 2 a pro moduly XBee-PRO je označení *XBP24*. Další rozdělení ve skupině *XB24* je *XB24-B*, *XB24-DM* a *XB24-ZB*. Pro další práci s XBee moduly byla zvolena řada *XB24-ZB*, která má největší podporu pro standard ZigBee. V této řadě je možné pracovat buďto v AT nebo API rozhraní. O jednotlivých rozhranních bude více napsáno v následující kapitole. V řadě *XB24-ZB* je možné si vybrat, jakou funkci bude daný XBee modul ve vytvořené síti vykonávat. V tab. 3 jsou uvedeny všechny typy firmwaru této řady [Manuál XBee moduly].

Tab. 3 Typy firmwaru v řadě XB24- ZB [Manuál XBee moduly]

| |
|--------------------------------------|
| ZIGBEE COORDINATOR API |
| ZIGBEE COORDINATOR AT |
| ZIGBEE END DEVICE ANALOG IO |
| ZIGBEE END DEVICE API |
| ZIGBEE END DEVICE AT |
| ZIGBEE END DEVICE DIGITAL IO |
| ZIGBEE END DEVICE PH |
| ZIGBEE ROUTER API |
| ZIGBEE ROUTER AT |
| ZIGBEE SOUTER SENZOR |
| ZIGBEE ROUTER/ END DEVICE ANALOG IO |
| ZIGBEE ROUTER/ END DEVICE DIGITAL IO |
| ZIGBEE ROUTER/ END DEVICE SENZOR |

2.1.3 Komunikace s XBee moduly prostřednictvím PC

S každým XBee modulem je možné komunikovat buď to přes sériové RS-232, nebo USB rozhraní. Toto záleží, ke které programovatelné desce je XBee modul připojen. Přes tyto dvě rozhraní je možné posílat příkazy pomocí AT nebo sofistikovanějším způsobem přes API rozhraní.

2.1.4 Příkazy v AT rozhraní

V AT rozhraní probíhá komunikace pomocí takzvaných AT příkazů. Aby mohl být modul konfigurován, musí nejprve přejít do konfiguračního režimu pomocí zadání symbolů „+++“ po sériovém rozhraní bez ukončovacího znaku. Dále se příkazy dělí na příkazy s parametrem a bez parametru.

Příkazy bez parametru jsou o velikosti 4bytu plus ukončovací znak „\r“. První dva znaky jsou vždy AT, a buď musí být velká, nebo malá písmena celého příkazu. Další dva znaky určují konkrétní parametr. Např. pro zjištění PAN ID stačí napsat příkaz „ATID\r“ a XBee modul přes sériové rozhraní zpět odpoví.

Příkazy s parametrem jsou delší o daný parametr. Rovněž celý příkaz musí být napsán buď velkými, nebo malými písmeny. Např. pro nastavení PAN ID na hodnotu 24 musí daný příkaz vypadat následovně „ATID24\r“. Tento příkaz by měl změnit a zapsat danou hodnotu PAN ID. Pro potvrzení zápisu se doporučuje ještě zadat příkaz pro zápis „ATWR\r“ [Manuál XBee moduly].

Pro okamžité ukončení činnosti XBee modulu v konfiguračním režimu je třeba zadat speciální příkaz „ATCNr“. Když tento příkaz není zadán, modul se sám vypne z konfiguračního režimu za určitý čas, který je možné definovat v jednom z jeho parametrů [Manuál XBee moduly].

2.1.5 API rozhraní

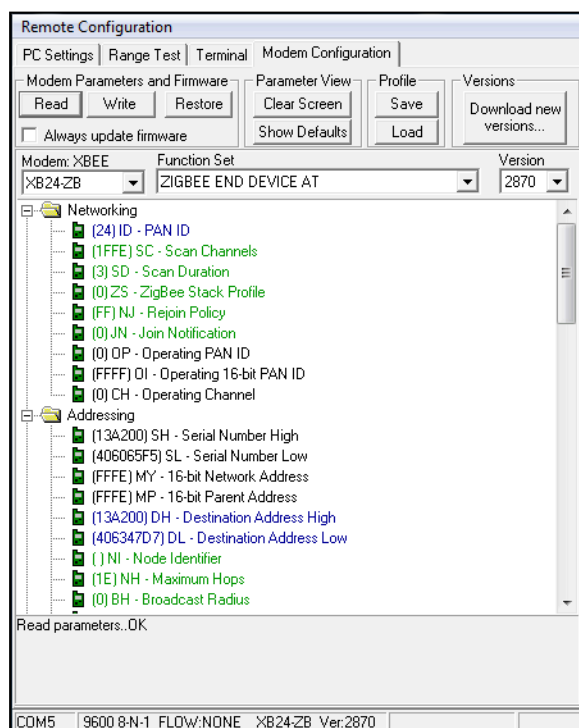
Komunikace s modulem je zprostředkována pomocí již předem definovaných datových rámců nazývaných API rámce nebo API pakety. Toto rozhraní má stejné možnosti jako AT rozhraní, ale má také spoustu užitečných vlastností, jejíž výběr je zde uveden [Černý 2009]:

- Posílání dat bez předchozí konfigurace adres a endpointů, vše je součástí API paketů.
- Odesílatel paketu je vždy znám.
- Možnost odesílání jednoho paketu všem prvkům v síti najednou.
- Možnost odesílání AT příkazů pomocí paketů.
- Možnost odesílání speciálních paketů pro konfiguraci vzdálených uzlů.
- Každý API paket obsahuje byte s kontrolním součtem, díky tomu je zajištěna ochrana proti vzniku chyby při přenosu.

2.2 Program X-CTU firmy Digi International

Jedná se o program vytvořený firmou Digi International pomocí kterého je možné velice snadným způsobem nahrávat firmwary do XBee modulu a také je konfigurovat.

V první záložce programu s názvem *PC Settings* se konfiguruje sériová komunikace mezi PC a XBee modulem. Ta je přednastavena na rychlost 9600baudu 8N1 (8 data bitů, jeden stop bit bez kontroly parity). V záložce *Range Test* je možné si otestovat kvalitu signálu mezi moduly. V předposlední záložce s názvem *Terminal* je možné komunikovat s XBee modulem pomocí AT příkazů a posílat textové zprávy jiným XBee modulům připojených v síti. Poslední a taky nejdůležitější záložka *Modem Configuration* nám umožňuje nahrávat, číst a konfigurovat firmware v XBee modulu. Je zde důmyslně propracovaná aktualizace firmwaru díky online komunikaci se serverem podpory Digi International.



Obr. 8 Záložka Modem Configuration v programu X-CTU

2.3 Programovatelné moduly

Výrobce programovatelných modulů je rovněž firma Digi International. Moduly mají označení buď XBIB-R-DEV pro připojení k PC přes sériové rozhraní RS-232 a XBIB-U-REV, jenž umožňuje připojení pomocí USB rozhraní. Programovatelné moduly mají přizpůsobené zásuvné patice pro moduly XBee a XBee-PRO a vyvedené digitální výstupy z XBee modulu na indikační diody a vstupy do mikropínačů. Jejich přesnější zapojení je uvedené v tab. 4 a tab. 5. Prostřednictvím mikropínačů je také možné nastavit nakonfigurovaný firmware XBee modulu do továrního nastavení. Na programovatelných modulech jsou vyvedené signalizační diody, které informují o intenzitě signálu ZigBee sítě a rovněž indikují přenos dat mezi XBee modulem a počítačem.

Tab. 4 Zapojení mikropínačů na programovatelných deskách [Digi 2011]

| Označení mikropínače | |
|----------------------|----------|
| SW1 | AD0/DIO0 |
| SW2 | AD1/DIO1 |
| SW3 | AD2/DIO2 |
| SW4 | AD3/DIO3 |

Tab. 5 Zapojení diod na programovatelných modulech [Digi 2011]

| Označení diody/ desky | | |
|-----------------------|---------|----------------|
| USB | RS- 232 | |
| LED1 | LED3 | DIO12 |
| LED2 | LED4 | PWM/DIO11 |
| LED3 | LED5 | DIO4 |
| LED4 | LED6 | Associate/DIO5 |



Obr. 9 Programovatelný modul s připojením prostřednictvím RS-232

2.4 Connect Port X4

Tyto brány slouží pro propojení ZigBee sítě s nadřazenými komunikačními sítěmi. Liší se podle daného typu a jejich rozdíl je především ve vysílacím výkonu a typu sítě, ke kterým se můžou připojit. Momentálně jsou k dispozici typy s připojením k ethernetu, Wifi a také GSM síti. Connect Porty jsou určeny především pro sběr dat v ZigBee síti. Tyto data po určitou dobu uchovávají a popřípadě upravují. Dále jsou také schopné spravovat celou ZigBee síť a konfigurovat jednotlivé parametry XBee modulů připojené k ní z jeho managementu.

Connect Port mají v sobě implementován programovací jazyk Python – DIA. Ten zprostředkovává již zmíněnou komunikaci mezi prvky ZigBee sítě s okolními sítěmi. DIA rovněž dovoluje transformaci dat. Pro specifické užití tykající se konkrétního zařízení je možné do DIA vložit příslušný ovladač, který je ve formě Python zdrojových kódů [Palivec 2011].

Tab. 6 Parametry Connect Portu X4 [Digi 2011]

| Specifikace | |
|---------------------|-----------------------|
| Frekvence | 2,4 GHz |
| Citlivost | 93dBm |
| Výstupní výkon | 15dBm |
| Max. přen. rychlost | 54Mbps |
| Příkon | 6-30VDC |
| Rozměry D x š x v | 13,33x 8,50 x 2,54 cm |
| Hmotnost | 0,34 kg |
| Provozní teplota | 0 až 60 C |



Obr. 10 Connect Port X4 [Digi 2011]

Pro připojení do managementu Connet Portu je nutné znát jeho MAC, popřípadě IP adresu. Zařízení, které je připojené k počítači prostřednictvím UTP kabelu lze také detekovat prostřednictvím programu dodávaný firmou Digi International a to Digi Device Discovery.

| XBee Configuration | | | | |
|---|-----------------|--------------------------|-------------|--------------|
| ▼ XBee Devices | | | | |
| Gateway Device Details | | | | |
| PAN ID: 0x1ad7 - 0x00000000000000024 | | | | |
| Channel: 0x0f (2425 MHz) | | | | |
| Gateway Address: 00:13:a2:00:40:47:5f:f4! | | | | |
| Gateway Firmware: 0x2170 | | | | |
| Network View of the XBee Devices | | | | |
| Select a device to configure: | | | | |
| Node ID ▲ | Network Address | Extended Address | Node Type | Product Type |
| [bb6d]! | | 00:13:a2:00:40:6a:3d:88! | end device | |
| [0000]! | | 00:13:a2:00:40:47:5f:f4! | coordinator | X4 Gateway |
| [9860]! | | 00:13:a2:00:40:60:65:f2! | end device | |
| [f1dc]! | | 00:13:a2:00:40:60:65:f5! | end device | Unspecified |
| [8bdf]! | | 00:13:a2:00:40:68:9f:18! | router | Wall Router |
| 1 coordinator, 1 router, 3 end devices | | | | |

Obr. 11 Konfigurace ZigBee sítě v managementu Connect Portu X4

Na obr. 11 jsou v managementu Connect Portu zobrazeny všechny XBee moduly, které jsou k vytvořené ZigBee síti s PAN ID 24 připojeny. Rovněž si lze povšimnout, že u každého prvku je uvedena jeho síťová adresa a adresa daná výrobcem, jenž je vždy stejná. Tato adresa se také zadává při volbě směru šíření dat mezi XBee moduly v síti. Po kliknutí na příslušný prvek se dostaneme do jeho nastavení a můžeme jej na dálku plně konfigurovat, bez použití programu X-CTU.

Obr. 12 Konfigurace Wall Routeru v managementu Connect Portu X4

2.5 Wall Router

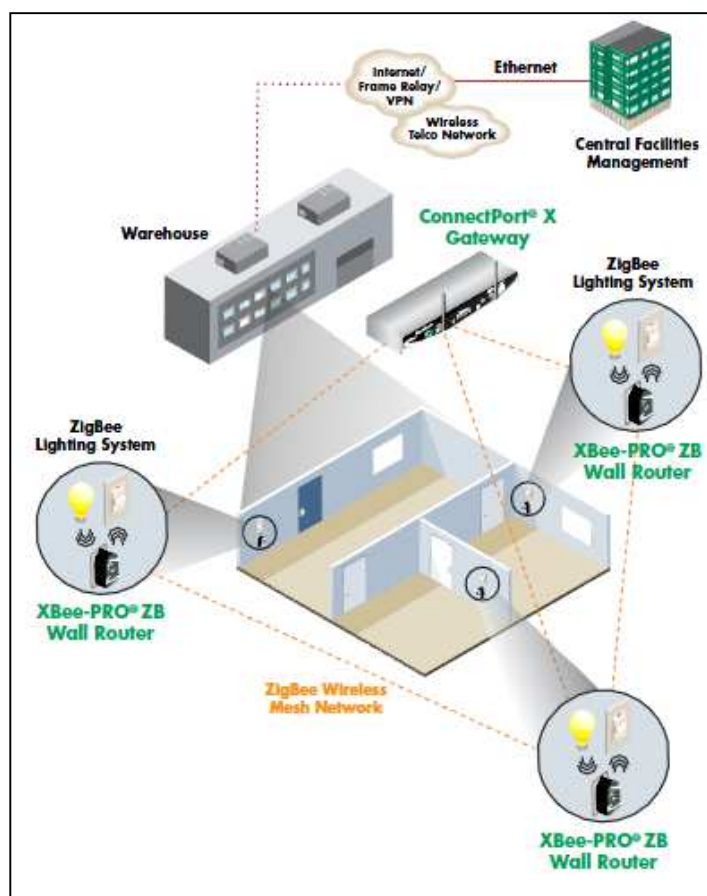
XBee Wall Router je určen pro rozšíření ZigBee sítě. Routery je možné připojit do standardní zásuvky, ale rovněž existují verze, které mohou být napájeny pouze tužkovými bateriemi. V sobě mají také zabudovaný teplotní a světelný senzor. Jeho základní nastavení se provádí přes resetovací tlačítko anebo ze vzdáleného Connect Portu pomocí AT příkazů obdobně jako u XBee modulů. Na čelní straně je umístěna dioda, která signalizuje úspěšné připojení Wall Routeru k některé již aktivní ZigBee síti. Vedle diody je umístěn světelný senzor. Čtení dat z obou senzorů je možný přes Connect Port a aplikaci naprogramovanou v jazyce Python.

Tab. 7 Parametry Wall Routeru [Digi 2011]

| Specifikace | |
|-------------------|----------------|
| Frekvence | 2,4 Ghz |
| Dosah uvnitř | až 300 m |
| Dosah venku | až 1600 m |
| Vysílací výkon | 50 mW |
| Citlivost | 102dBm |
| Rozměry D x š x v | 7,3x 5x 3,5 cm |
| Pracovní teplota | 0 až 70 C |



Obr. 13 XBee Wall Router [Digi 2011]



Obr. 14 Ukázka ZigBee sítě s Connect Portem X4 a Wall Routerem [Digi 2011]

3 SPUŠTĚNÍ A KONFIGURACE ZIGBEE SÍTĚ S XBEE MODULY

V této kapitole je popsáno, jak vytvořit jednoduchou ZigBee síť prostřednictvím XBee modulů. Dále jsou zde uvedeny možnosti čtení dat z digitálních vstupů/výstupů XBee modulů, posílání dat prostřednictvím sériové komunikace a způsoby směřování dat v ZigBee síti.

3.1 Konfigurace XBee modulů a vytvoření ZigBee sítě

Před samotným začátkem konfigurace XBee modulů je nutné v programu X-CTU správně nastavit komunikační rychlost mezi počítačem a modulem. Po úspěšném nastavení rychlosti (parametry sériové komunikace jsou uvedeny v manuálu k XBee modulům) lze přejít k nahrání vhodného firmwaru do modulu. Do prvního XBee modulu byl nahrán firmware s označením XB24-ZB ZigBee koordinátor AT a do druhého XB24-ZB ZigBee End Device AT. Byla tak vytvořena nejjednodušší ZigBee síť s jedním koordinátorem FFD, který řídí správu celé sítě a koncovým zařízením RFD, jenž je určeno pro sběr dat a může přecházet do režimu spánku.

3.1.1 Konfigurace a start koordinátora

Jak již bylo uvedeno dříve, koordinátor je zodpovědný za celou správu a funkčnost vytvořené sítě. Proto nastavení jeho parametrů je klíčové pro správný chod sítě a prvků k ní připojené. U koordinátora se musí nastavit PAN ID sítě a číslo komunikačního kanálu. PAN ID můžeme zadat buď 8 bitovým číslem anebo nastavíme do tohoto parametru nulu a koordinátor si zvolí hodnotu sám. Komunikační kanál se volí parametrem SC (scan channels) a jedná se v podstatě o 16-bitové pole, ve kterém každý bit odpovídá určitému kanálu. Poslední parametr, jenž ovlivňuje spuštění sítě je SD (scan duration). Tento parametr ovlivňuje dobu, po kterou se má hledat PAN ID nebo číslo kanálu [Manuál XBee moduly].

3.1.2 Připojení koncového zařízení nebo směrovače do sítě

Parametry těchto prvků v síti se příliš neliší od nastavení koordinátora. Pouze je důležité zadat hodnotu PAN ID sítě, na kterou chceme, aby se zařízení

připojilo. Při nastavení této hodnoty na nulu by se mělo koncové zařízení nebo směrovač připojit k síti, která již existuje. V praxi se však tato metoda moc neosvědčila. Význam parametrů SC, SD je totožný jako u koordinátora.

Správné nakonfigurování obou XBee modulů a jejich připojení do sítě se dá ověřit v programu X-CTU v záložce *Range Test*. Zde je možné zjistit intenzitu signálu mezi dvěma XBee moduly. Dále zde existuje možnost zjistit propojení XBee modulů v záložce *Terminal*, který není určen jen k odesílání AT příkazů pro konfiguraci XBee modulu, ale také dovoluje posílat textové zprávy mezi jinými XBee moduly v síti.

3.2 Možnosti směrování dat v ZigBee síti mezi XBee moduly

Odesílání paketu dat do sítě je možná několika způsoby: unicast, broadcast a Many-To-Many. Způsob odesílání paketu unicast znamená, že v síti je jeden zdroj a jeden příjemce. U odesílání paketů broadcast existuje v síti jeden zdroj, který své pakety odesílá všem prvkům v síti. Při komunikaci Many-To-Many je jeden příjemce, který sbírá data od ostatních vysílačů v síti. Nastavení těchto variant odesílání paketů do sítě u přijímacích a vysílacích zařízení se provádí pomocí příkazů adresování DH (Destination Address High) a DL (Destination Address Low). Praktické ukázky nastavování těchto parametrů budou popsány v dalších kapitolách [Manuál XBee moduly].

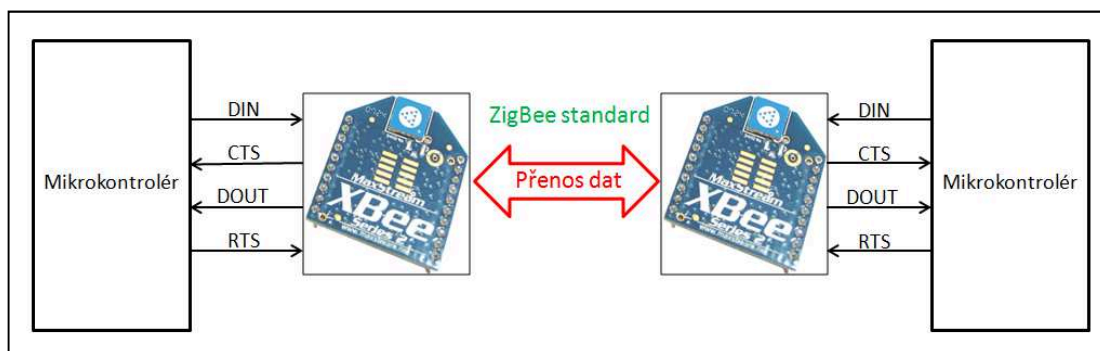
3.3 Nastavení digitálních vstupů/výstupů v XBee modulech

Každý XBee modul disponuje určitým počtem pinů, které je možné nastavit jako digitální vstup či výstup. Čtení hodnot ze vstupu je možný pomocí dvou funkčně odlišných atributů. První, nazývaný IR (IO Sampling Rate), umožňuje odesílat aktuální hodnoty na vstupech v pravidelných časových intervalech a tyto hodnoty vzorku se odešlou na zadanou adresu. Druhý způsob je, že XBee modul reaguje na změnu na jakémkoliv jeho vstupu a hodnotu odešle rovněž na zadanou adresu. Tento způsob čtení vstupu se provádí pomocí příkazu IC (Digital IO Change Detection). V něm se nastaví bitová maska, kde každý bit představuje jeden vstupní pin, který se má hlídat [Manuál XBee moduly].

Po prostudování jiných manuálů a literatury (např. www.digi.com) bylo zjištěno, že XBee Moduly Series 2 nemají přímou podporu v přenášení dat mezi jejich digitálními vstupy/výstupy. Je to způsobené použitím jiného řídicího procesoru, do kterého nelze nahrát starší firmware standardu 802.15.4, který tento přenos dat podporuje.

3.4 Sériový přenos dat mezi XBee moduly

XBee moduly umožňují přenos dat mezi sebou nejen prostřednictvím jejich digitálních vstupů/výstupů, které byly popsány v předešlé kapitole, ale také vlastní piny, které umožňují sériový přenos dat. Konfigurace této sériové komunikace v XBee modulu je stejná jako u klasické kabelové sériové linky RS-232. Tímto je možné nahradit kabelovou sériovou linku RS-232 bezdrátovým přenosem dat prostřednictvím XBee modulů. Na obr. 15 je blokově znázorněna tato bezdrátová komunikace mezi dvěma mikrokontroléry [Manuál XBee moduly].



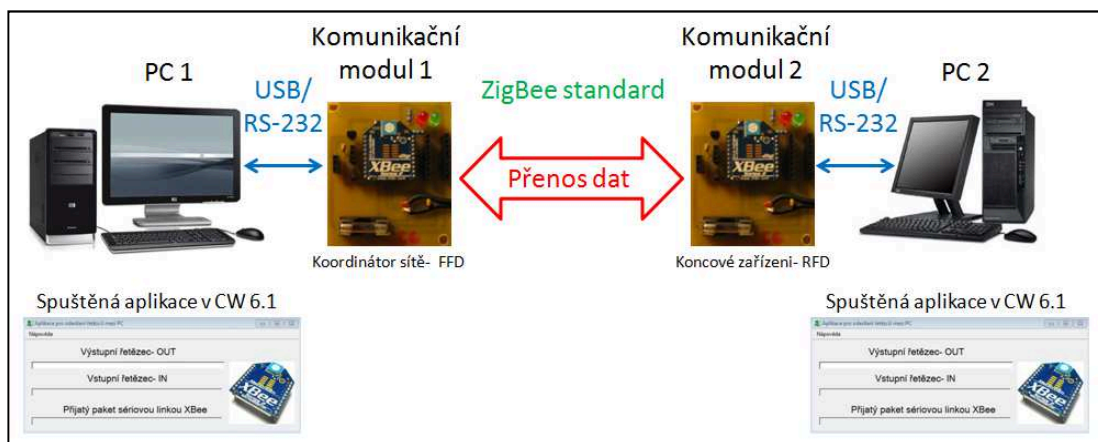
Obr. 15 Princip bezdrátové sériové komunikace mezi dvěma mikrokontroléry

4 KOMUNIKACE MEZI PC PROSTŘEDNICTVÍM ZIGBEE SÍTĚ

V této kapitole jsou popsány navržené a realizované ZigBee sítě, ve kterých jsou použity komponenty firmy Digi International a vytvořeny komunikační moduly. Dále zde jsou popsány aplikace vytvořené v programu control Web 6.1, které umožňují komunikaci ve vytvořených sítích a konfiguraci XBee modulů. V poslední bodu této kapitoly jsou uvedené problémy, které nastaly při práci s XBee moduly během realizace níže uvedených ZigBee sítí.

4.1 Realizace ZigBee sítě prostřednictvím XBee modulů

V první praktické úloze byla vytvořená ZigBee síť pomocí dvou XBee modulů. Blokové schéma celé úlohy je na obr. 16. Ze schématu je patrné, že komunikační modul 1 je nastaven jako koordinátor celé sítě a komunikační modul 2 je koncovým zařízením.



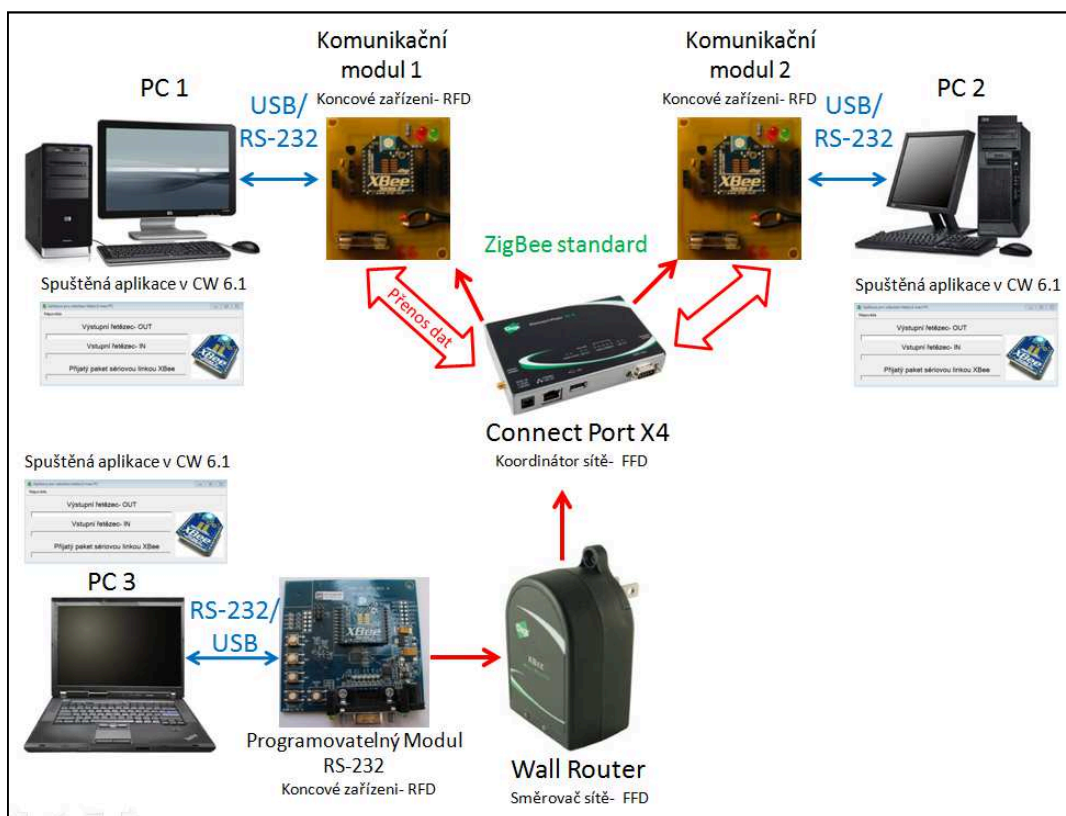
Obr. 16 Blokové schéma ZigBee sítě realizovaná dvěma XBee Moduly

Přenos dat mezi moduly je unicast, ve kterém moduly mohou posílat data vzájemně mezi sebou. Pro nastavení komunikace tohoto typu slouží parametry DH a DL, jak bylo uvedeno v kapitole 3.2. Příkaz DH je horních 32 bitů 64-bitové cílové adresy a příkaz DL je spodních 32 bitů 64-bitové adresy. Proto, aby mohly začít spolu komunikovat unicast, tak se musí na každém modulu tyto parametry rovnat parametrům SH (Seriál Number High) a SL (Seriál Number Low) protějšního modulu. Tedy DH komunikačního modulu 1 odpovídá SH komunikačního modulu 2 a SL komunikačního modulu 1 je rovno DL komunikačního modulu 2.

Komunikační moduly jsou připojeny k počítačům prostřednictvím USB portu, avšak ve správci zařízení se hlásí jako virtuální sériový port. Tyto komunikační moduly jsou více popsány v kapitole 4.3. Na obou počítačích je spuštěna aplikace, která byla vytvořená v programu Control Web 6.1 a umožňuje posílat textové řetězce mezi nimi.

4.2 Realizace ZigBee sítě prostřednictvím produktů firmy Digi International

V další praktické úloze byla vytvořená ZigBee síť prostřednictvím všech dostupných komponentů firmy Digi International. Blokové schéma celé úlohy je na obr. 17.



Obr. 17 Blokové schéma ZigBee sítě realizované všemi dostupnými komponenty firmy Digi International

V této ZigBee síti je koordinátor Connect Port X4 a koncová zařízení jsou oba komunikační moduly a programovatelný modul. Jako směrovač sítě je zde použit Wall Router, který rovněž zajišťuje rozšíření celé sítě. Přenos dat mezi komunikačními moduly je stejný jako v předchozí úloze, tedy unicast. Programovatelný modul

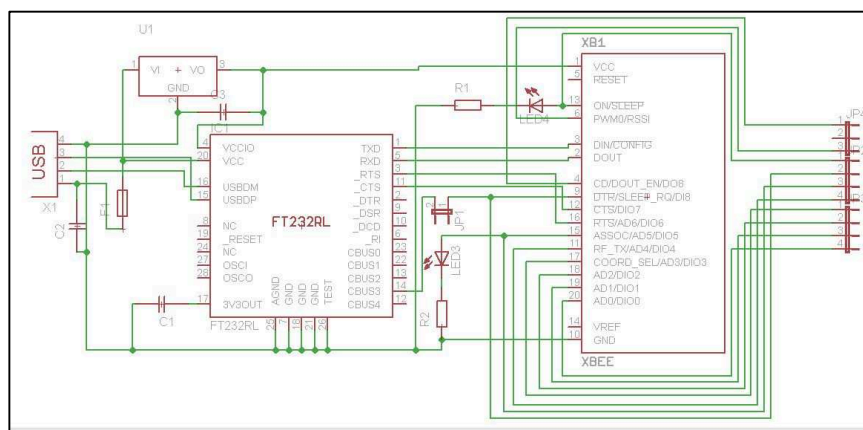
použitý v této úloze je nakonfigurován tak, že šíří data do komunikačních modulů pouze jednosměrně. Tento způsob komunikace se nazývá broadcast. Posílá data všem prvkům v dané síti, ale nemůže přijímat data od nich nazpět. Pro komunikaci broadcast se parametry v programovacím modulu nastaví následovně: DH=0x0000 a DL=0xFFFF. Na všech počítačích byla spuštěna aplikace vytvořená v programu Control Web 6.1, stejně jako v předešlém případě.

4.3 Popis vytvořených komunikačních modulů

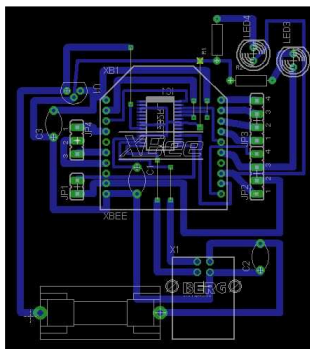
Tento komunikační modul byl vytvořen pro propojení XBee modulu s počítačem prostřednictvím USB portu. Jako prostředník mezi XBee modulem a PC je použit integrovaný obvod FT232RL. Pro návrh zapojení a DPS byl použit program EAGLE.

IO FT232RL se po nainstalování ovladačů do PC chová jako virtuální sériový port ve správci zařízení, i když je k PC připojený prostřednictvím USB konektoru. Díky tomuto obvodu je možné posílat data na jiné XBee moduly prostřednictvím ZigBee sítě a také je programovat.

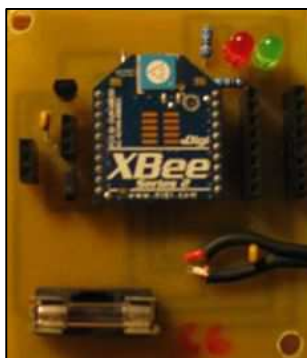
Na této DPS jsou vyvedené všechny vstupy a výstupy XBee modulu a dvě signalizační diody odlišných barev. Zelená signalizační dioda informuje o tom, zda je XBee modul připojen k ZigBee síti. Pokud dioda bliká frekvencí asi 1Hz, pak je XBee modul úspěšně připojen. Jestliže bliká frekvencí nižší než jen 1Hz, není připojen k žádné síti. Červená signalizační dioda informuje o tom, zda se XBee modul nachází v režimu spánku. Pokud svítí, tak je XBee probuzen a pokud ne, nachází se v režimu spánku. Koncová zařízení není možné z režimu spánku úplně vypnout, a tedy u nich dochází vždy ke krátkému probliknutí. Dobu spánku je možné nastavit příslušnými parametry.



Obr. 18 Návrh zapojení komunikačního modulu



Obr. 19 Návrh DPS komunikačního modulu



Obr. 20 Vytvořená DPS komunikačního modulu

4.4 Popis vytvořených aplikací v programu Control Web

V této podkapitole je v krátkosti popsán program Control Web 6.1 a aplikace naprogramované v něm. První aplikace je určená pro přenos textových řetězců mezi počítači. Pomocí druhé aplikace je možné konfigurovat parametry Xbee modulů, které určují směřování dat v ZigBee síti.

4.4.1 Program Control Web 6.1

Programový systém Control Web vyvinula akciová společnost Moravské přístroje, která se od svého roku založení 1991 soustředí na vývoj a podporu hi-tech produktů v oblasti elektroniky a programového vybavení. Aplikace Control Panel a Control Web určené pro průmysl, laboratoře a školy se vyvíjejí více jak 15 let a staly se proto u nás nejpoužívanějším nástrojem v tomto oboru.

Aplikace vytvořená v programu Control Web 6.1 může pracovat s reálným časem. Navržená aplikace je také schopna pracovat v režimu, kdy je řízená daty. Toto přináší velké zjednodušení při návrhu a menší nutnost detailně celou úlohu

promýšlet. Stojí však za úvahu, jestli zjednodušení tvorby aplikace vyváží nemožnost aktivně a přesně ovlivňovat její chod. Dá se říct, že jedna vytvořená aplikace v systému CW 6.1 pracuje jako řada několika zcela nezávislých automatizačních mini úloh, přičemž elementárními jednotkami pro běh mini úloh jsou přístroje a vyhodnocované datové elementy.

Jakákoliv nová aplikace je většinou podmíněna jasným požadavkům na funkčnost a účel, za kterým má být vytvořená. Po stanovení jasných požadavků je důležité si uvědomit, jakým způsobem danou aplikaci můžeme vytvořit. Systém Control Web 6.1 využívá pro tvorbu a vývoj aplikací tzv. *Dvoucestné programování*. V podstatě se jedná o dvě vývojové prostředí: grafický editor a textový editor. Tyto prostředí jsou navzájem propojené a jakákoliv změna v jednom prostředí se okamžitě projeví do druhého [Manuál CW6.1].

Systém Control Web 6.1 nabízí několik možností jak spolupracovat s vnějšími systémy. Díky tomu má nekonečné možnosti uplatnění ve všeobecné praxi. Jako první stojí za zmínku přístroj Active_x, který pracuje jako obecný kontejner schopný ve své ploše vytvořit a zobrazit komponentu odpovídající specifikaci Active_x firmy Microsoft. V prostředí Control Web 6.1 je možné spravovat několik ovladačů, které jsou určeny jak pro ladění a testování aplikací, tak i pro nasazení v reálném technologickém procesu. Zde je uvedeno několik nejzákladnějších ovladačů:

- Virtuální ovladač, modelový ovladač a simulační ovladač Dummy s SimBuf slouží k ladění a testování aplikací.
- DDE, OPC, TCP/IP, ASCII, ADVBUF a ADVPCL slouží pro běžné použití v reálných aplikacích.

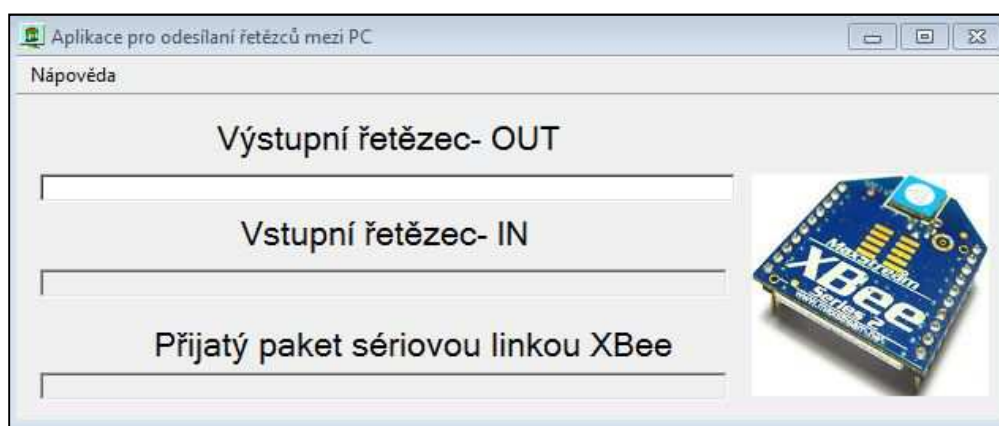
4.4.2 Aplikace umožňující komunikaci mezi počítači

V programu Control Web 6.1 byla naprogramovaná aplikace, která umožňuje prostřednictvím XBee modulu posílat textové zprávy mezi několika PC stanicemi. Pro tuto aplikaci byl navržen speciální datový paket. Ten je vždy konstantní délky a to dvanáctibajtový. V paketu je určeno 8 bajtu pro přenášené informace a zbylé bajty zajišťují jeho bezchybný přenos a správné přečtení přenášených dat. Poslední jeden bajt zajišťuje správnost přenosu mezi XBee moduly. Jeho hodnota je vypočtena u odesílatele a následně kontrolována po

přijetí u adresáta. Pokud se jeho hodnota nebude rovnat, vyšle se speciální paket nesoucí pouze znak „F“. Poté, co odesílaná strana zaznamená na svém vstupu tento znak, okamžitě odešle znova všechna vložená data. Pokud je zadaná textová zpráva delší než 8 bajtu, vytvořená aplikace automaticky textovou zprávu rozdělí po 8 bajtech a případné chybějící bajty doplní znakem „x“. Pro správně přečtení rozděleného řetězce slouží prostřední dva bajty. Celý přenášený paket je na obr. 21. V aplikaci je vytvořena nápověda, ve které je popsán vytvořený program a způsob komunikace mezi vytvořenými aplikacemi.

| „S“ | Datové bajty | Počet datových bajtů v paketu | Počet podřetězců | Kontrolní bajt |
|--------|--------------|----------------------------------|------------------|-------------------|
| 1 bajt | 8 bajtů | 1 bajt | 1 bajt | 1 bajt |

Obr. 21 Tvar přenášeného datového paketu

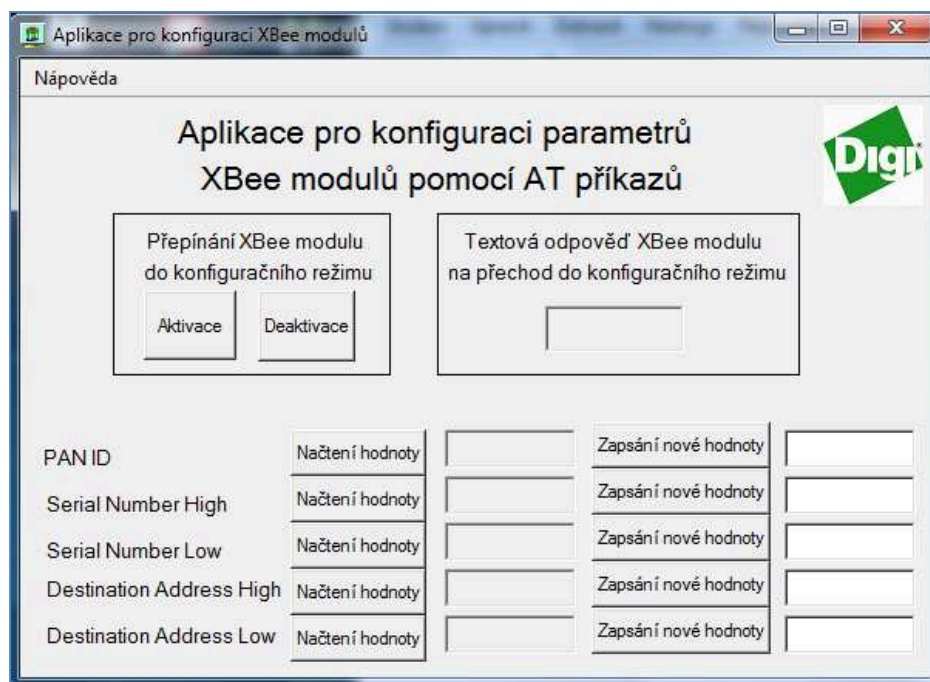


Obr. 22 Okno vytvořené aplikace

4.4.3 Aplikace umožňující konfiguraci XBee modulů

V programu Control Web 6.1 byla naprogramovaná aplikace, která umožňuje přepnout XBee modul do konfiguračního režimu a následně nastavovat jeho parametry. Okno aplikace je na obr. 23. Aplikace je navržena pro základní nastavování parametru XBee modulů, které určují směrování dat v ZigBee síti mezi jednotlivými moduly. Daný parametr je možné načíst pomocí kliknutí na příslušné tlačítko a ve vedlejším okně tuto hodnotu dle potřeby překonfigurovat. Pro informaci, zda XBee modul přešel do konfiguračního režimu, slouží speciální okno, kde se po úspěšném přechodu vypíše text *OK*. Stejný text se vypíše i po jeho

deaktivaci. V aplikaci je vytvořena nápověda, ve které jsou popsány možnosti směrování dat mezi XBee moduly v ZigBee síti.



Obr. 23 Okno vytvořené aplikace

4.5 Vzniklé problémy při práci s XBee moduly

První problém, který se objevil u některých XBee modulů, bylo navázání komunikace přes program X-CTU. Při zadání komunikačních parametrů sériového rozhraní, které byly dané v manuálu (přenosovou rychlost, počet datových bitů a počet stop bitů), XBee modul nebyl schopen navázat spojení. Po dlouhých testech bylo zjištěno, že komunikační rychlost sériového rozhraní byla nastavená v XBee modulu na 115200bps místo 9800bps, jak bylo uvedeno v manuálu. Po změně tohoto parametru v XBee modulu vše dále pracovalo správně.

Při nahrávání firmwaru do XBee modulu je důležité si dát pozor na to, zda se jedná o AT nebo API rozhraní. Při nahrání API rozhraní je nutné v první záložce (konfigurace připojení) v programu X-CTU zaškrtnout povolení API. Pokud se toto neprovede, XBee modul s programem X-CTU vůbec nekomunikuje.

Během konfigurace Wall Routeru byla zjištěna chyba v návodu pro jeho obsluhu. Bylo v něm uvedeno, že po čtvrtém zmáčknutí tlačítka reset se nastaví jeho PAN ID na 0, tedy měl by si v tomto nastavení sám najít již fungující síť a připojit se k ní. Po dodržení pokynu v manuálu se jeho asociační dioda rozblikala tak, jako by byl

skutečně připojen. Jenže při zprávě sítě z Connect Portu X4 se zde Wall Router neobjevil. Po prostudování jiných manuálů k XBee komponentům od firmy Digi bylo zjištěno, že se Wall Router po čtvrtém zmáčknutí tlačítka reset nastaví svou PAN ID na 234. Po tomto zjištění se pouze přednastavil Connect Port na danou adresu a přes něj se mohl Wall Router překonfigurovat na jinou adresu.

Jako poslední problém, který se přímo netýkal XBee modulů, je spojen s integrovanými obvody od firmy FTDI. Ty zprostředkovávají komunikaci mezi XBee modulem a PC a vytváří v PC virtuální sériový port. Na originální programovací desce od firmy Digi se nalézají IO FT232BL a na vyrobených DPS s XBee moduly je použit IO FT232RL. Ovladače jsou pro každý IO jiný a při pokusu mít na jednom PC oba najednou dojde k havárii celého PC. Dále je nutné ovladače odinstalovat z nouzového režimu Windows. Toto platí pro Windows XP a 7, kde došlo ke zhroucení celého systému.

5 NÁVRH LABORATORNÍCH ÚLOH

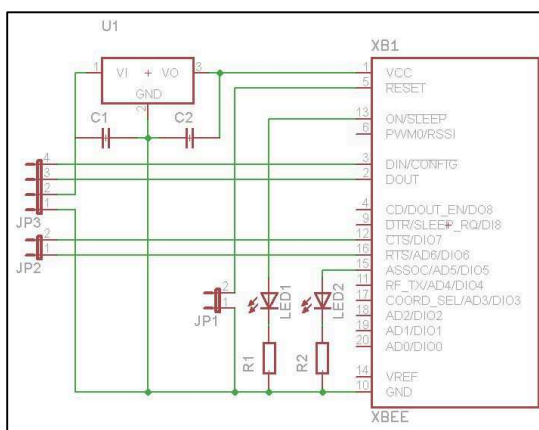
V této kapitole jsou popsány vytvořené univerzální moduly a komunikační protokol, který je použit v řídicí a monitorovací úloze. Dále jsou zde popsány tři navržené a realizované laboratorní úlohy. V těchto úlohách jsou také použity všechny dostupné komponenty od firmy Digi International.

5.1 Popis vytvořených univerzálních modulů

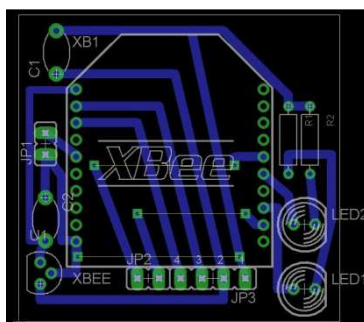
V této podkapitole jsou popsány vytvořené univerzální moduly. Tyto moduly umožňují prostřednictvím XBee komponent zpracovávat a přenášet data v ZigBee síti mezi sebou. Návrhy zapojení jednotlivých součástek a cest na DPS byly prováděny v programu EAGLE.

5.1.1 Vysílací DPS s XBee modulem

Tuto DPS je možné připevnit jak na desku s jednočipovým procesorem PIC, tak na desku s IO MAX232CPE. Deska s XBee modulem má vyvedeny piny pro přenos dat RX, TX piny pro řízení komunikace RTS, CTS a piny zajišťující jeho napájení. Jsou na ní také diody, které signalizují režim spánku (červené barvy) a připojení XBee modulu k ZigBee síti (zelené barvy). Pro případné resetování XBee modulu jsou vyvedené dva piny.



Obr. 24 Schéma zapojení vysílacího modulu



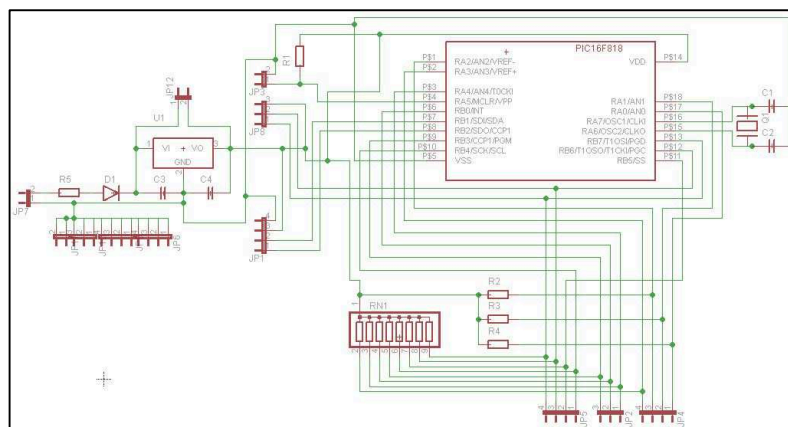
Obr. 25 Návrh cest na DPS vysílacího modulu



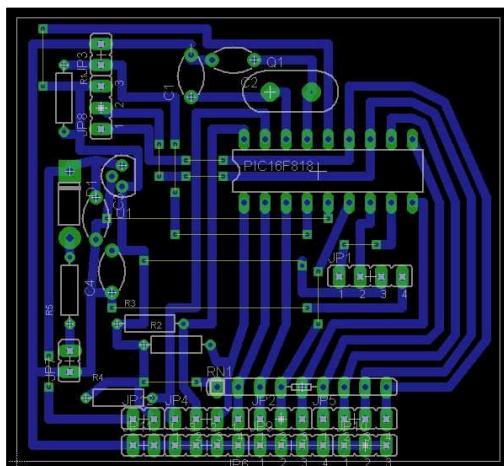
Obr. 26 Vytvořený vysílací modul

5.1.2 Modul s jednočipovým procesorem PIC

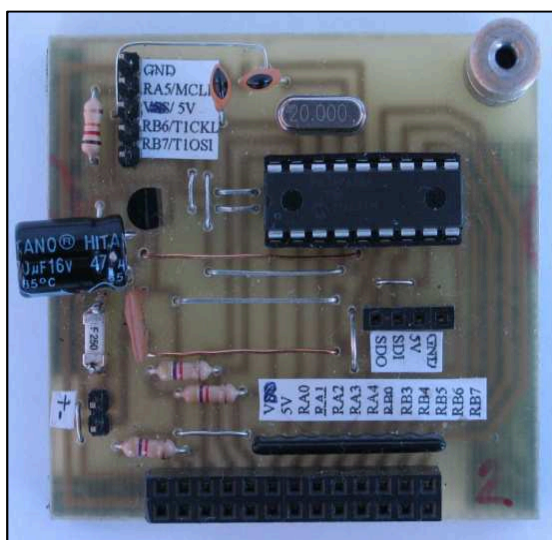
Tato DPS je navržena pro jednočipové procesory PIC, které mají 18 pinů a jsou v pouzdře DIP. Jsou na ní vyvedené všechny vstupy a výstupy z jednočipového procesoru PIC a také piny pro jeho programování pomocí programátoru PRESTO. Deska má rovněž vyvedeny piny pro napájení a datové propojení procesoru PIC s vysílací DPS, na které je připevněn XBee modul. Napájecí napětí tohoto modulu může být maximálně 16 V.



Obr. 27 Schéma zapojení modulu s jednočipovým procesorem PIC



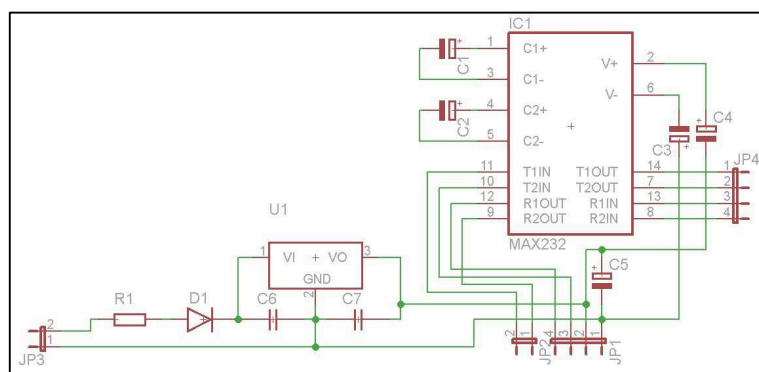
Obr. 28 Návrh cest na DPS univerzálního modulu s PIC



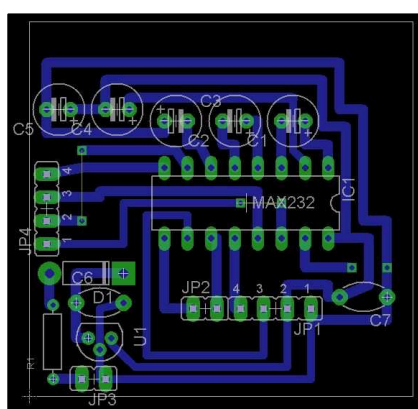
Obr. 29 Vytvořený univerzální modul s PIC

5.1.3 Modul s integrovaným obvodem MAX232CPE

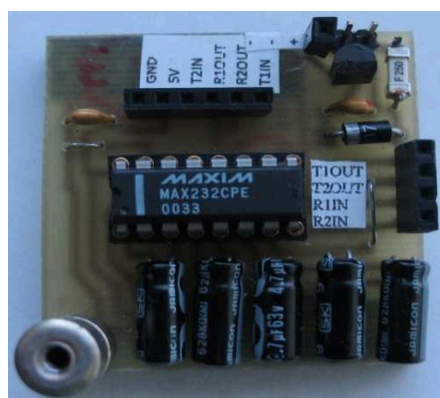
Integrovaný obvod MAX232CPE slouží jako převodník mezi sériovým rozhraním RS-232 a logickou úrovní TTL. V sobě má dvojici oddělovačů konvertujících tyto dvě rozdílné napěťové úrovně. Napětí pro rozhraní RS-232 je získáváno prostřednictvím nábojové pumpy. K této DPS je možné připevnit vysílací DPS s XBee modulem. DPS umožňuje vyvést na straně RS-232 jak datové signály RX, TX, tak řídicí signály komunikace CTS a RTS. V propojení univerzálního modulu s IO MAX232CPE s komunikačním modulem lze nahradit kabelovou sériovou linku RS-232 bezdrátovým přenosem dat prostřednictvím ZigBee sítě. Napájecí napětí tohoto modulu může být až 35 V.



Obr. 30 Schéma zapojení modulu s IO MAX232CPE



Obr. 31 Návrh cest DPS univerzálního modulu s IO MAX232CPE



Obr. 32 Vytvořený univerzální modul s IO MAX232CPE

5.2 Popis vytvořeného komunikačního protokolu

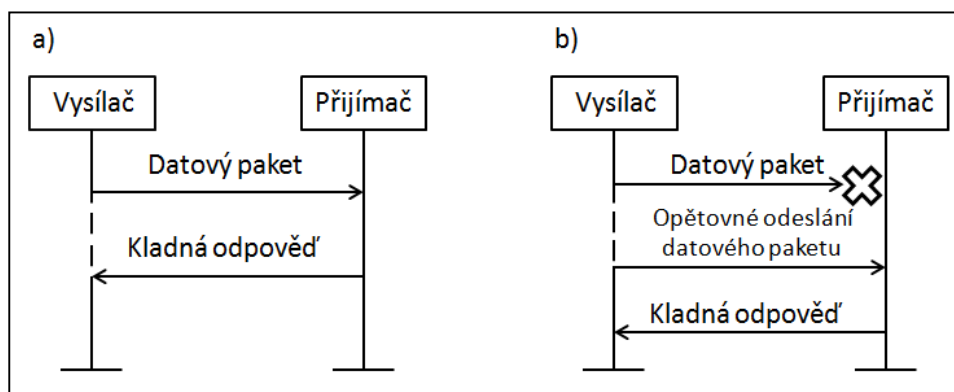
Za účelem přenosu dat mezi univerzálními moduly a aplikacemi vytvořenými v programu Control Web byl vytvořen komunikační protokol. V tomto protokolu se přenáší datový paket, který je znázorněn na obr. 33.

| „U“ | Adresát | Odesílatel | Typ paketu | Počet datových bajtů v paketu | Datové bajty | Kontrolní součet CRC |
|--------|---------|------------|------------|----------------------------------|--------------|-------------------------|
| 1 bajt | 1 bajt | 1 bajt | 1 bajt | 1 bajt | max. 9 bajtů | 1 bajt |

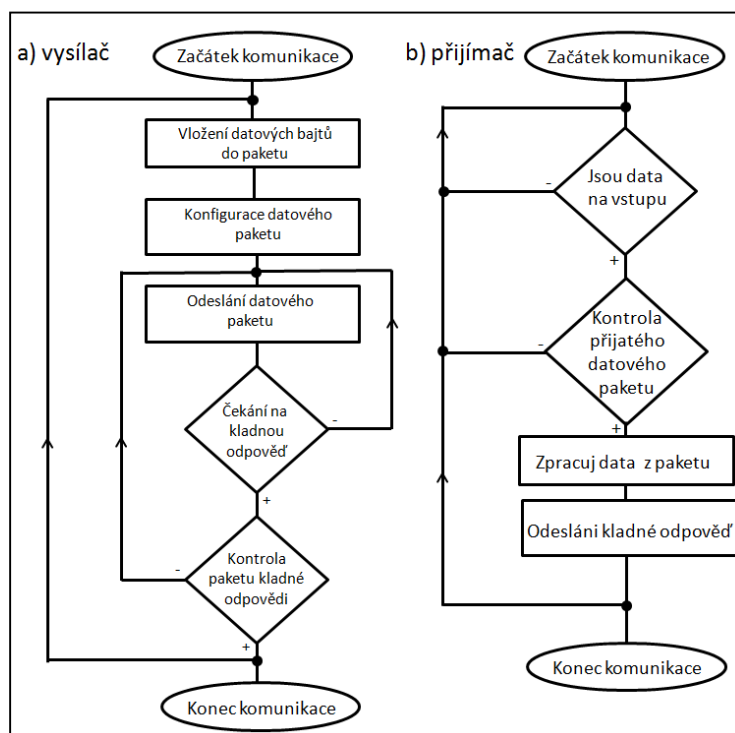
Obr. 33 Datový paket v komunikačním protokolu

Délka tohoto paketu závisí na počtu přenášených datových bajtů, kterých však může být maximálně 9. Každý paket začíná synchronizačním znakem „U“. Po něm následují dva bajty, které v sobě mají označení adresáta a odesílatele. Další bajt v sobě nese označení daného paketu. Ten může být buď datový „D“ anebo se jedná o kladnou odpověď „O“. Následuje bajt nesoucí v sobě informaci o počtu datových bajtů v paketu. Poté je blok datových bajtů a závěrečný bajt, jenž představuje kontrolní součet všech přenášených bajtů v paketu.

Přenos paketů v tomto komunikačním protokolu mezi vysílačem a přijímačem je znázorněna na obr. 34. Kde vysílací modul odešle datový paket, který přijímač překontroluje, zda přišel v pořádku a zda mu patří. Následně odešle kladnou odpověď (viz. obr. 34a). Pokud datový paket nedorazí v pořádku příjemci anebo se během přenosu ztratí, vysílač čeká na kladnou odpověď po určitou dobu, pokud nepřijde, vysílač datový paket odešle znovu (viz. obr. 34b). Na obr. 35 je ve vývojových diagramech znázorněna vnitřní programová struktura vysílače a přijímače.



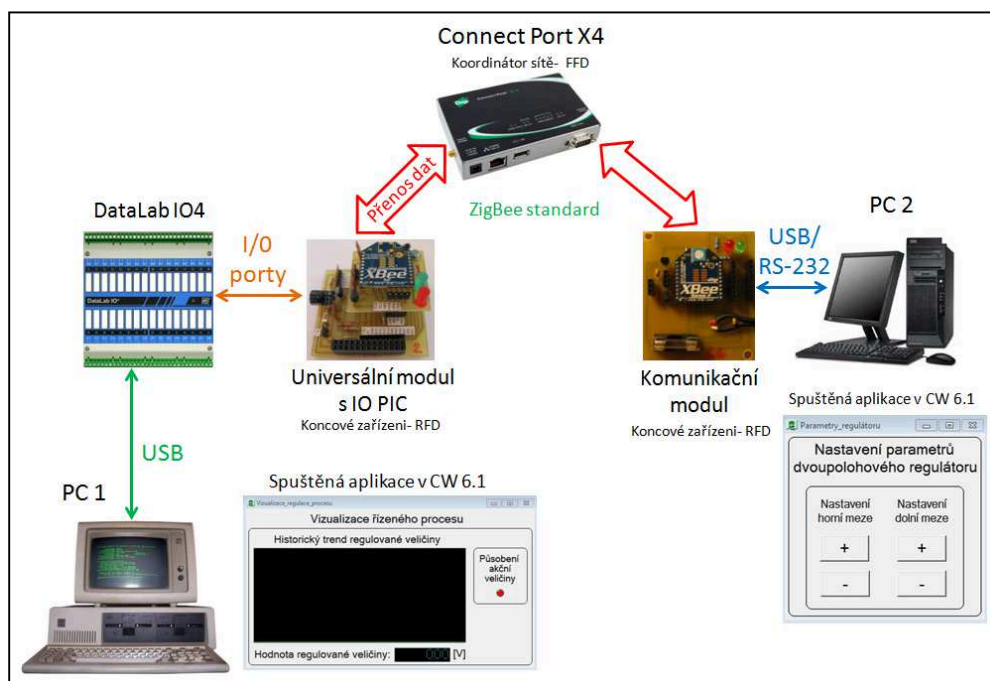
Obr. 34 Způsob přenášení datových paketů v komunikačním protokolu



Obr. 35 Vývojové diagramy komunikačních programů ve vysílači a přijímači

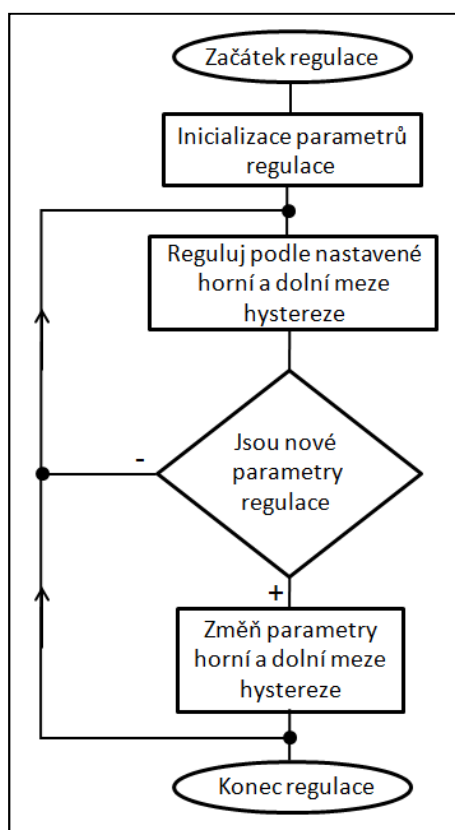
5.3 Řídicí úloha simulované reálné soustavy

V této řídicí úloze je vytvořená ZigBee síť realizována z komunikačního modulu a univerzálního modulu s jednočipovým procesorem PIC16F628A. Koordinátorem celé sítě je Connect Port X4. Blokové schéma celé úlohy se nachází na obr. 36.



Obr. 36 Blokové schéma řídicí úlohy

V univerzálním modulu s jednočipovým procesorem PIC je nahrán algoritmus dvoupolohového regulátoru a komunikační protokol. Tento modul je propojen s počítačem PC 1 prostřednictvím jednotky DalaLab IO4. Tato jednotka vlastní digitální vstupy a analogové výstupy, které dokáže nastavovat a číst program Control Web. Na PC 1 je spuštěna aplikace v programu Control Web, ve které běží modelový ovladač simulované reálné soustavy. Vlastnosti simulované reálné soustavy lze nastavovat parametry, které jsou dané v Laplaceově přenosu. Ve vytvořené aplikaci je také zobrazen historický průběh regulované veličiny, její aktuální hodnota a také působení akční veličiny z regulátoru. Tato simulovaná reálná soustava je řízena naprogramovaným regulátorem v jednočipovém procesu. Vývojový digram řídicího programu v PIC ilustruje obr. 37.



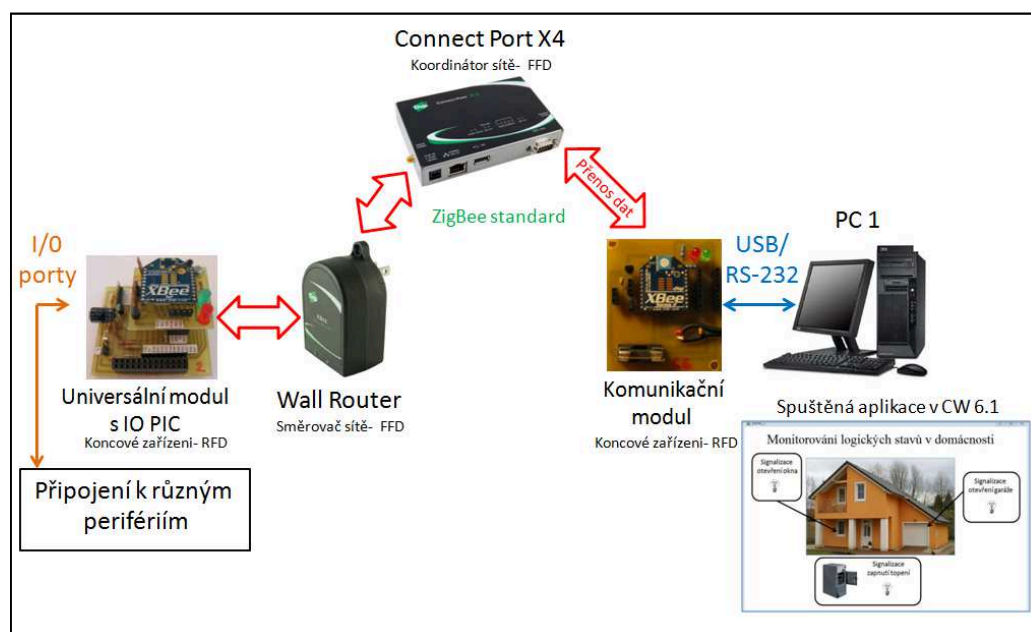
Obr. 37 Vývojový diagram programu v PIC

Nastavování parametrů dvoupolohového regulátoru, tedy šířku hystereze se provádí z druhého počítače PC 2. Na něm je spuštěna aplikace, která běží také v programu Control Web. V této aplikaci je možné nastavovat zvlášť hodnotu horní i dolní hystereze. Přenos dat mezi komunikačním modulem a univerzálním modulem je realizován vytvořeným komunikačním protokolem, který je popsán v kapitole 5.2.

5.4 Monitorovací úloha logických stavů v domácnosti

V monitorovací úloze je ZigBee síť a přenášení datových paketů řešeno obdobně jako v řídicí úloze, pouze je zde ještě použit Wall Router pro rozšíření bezdrátové sítě. Tato vytvořená úloha demonstruje použití XBee komponent a ZigBee sítě v reálné domácnosti. Zde je také použit univerzální modul s jednočipovým procesorem a komunikační modul.

U univerzálního modulu s jednočipovým procesorem PIC jsou využívány digitální vstupy pro detekování logických stavů. Tyto vstupy mohou být připojeny na snímače, které jsou umístěny ve dveřích nebo oknech domů jako bezpečnostní alarm nebo také ke snímači, který detekuje spuštění vytápění domu apod. Komunikační modul jde zde použít ke sběru dat z univerzálního modulu. Tyto data jsou dále vizualizovaná ve vytvořené aplikaci programu Control Web. Blokové schéma monitorovací úlohy je na obr. 38.

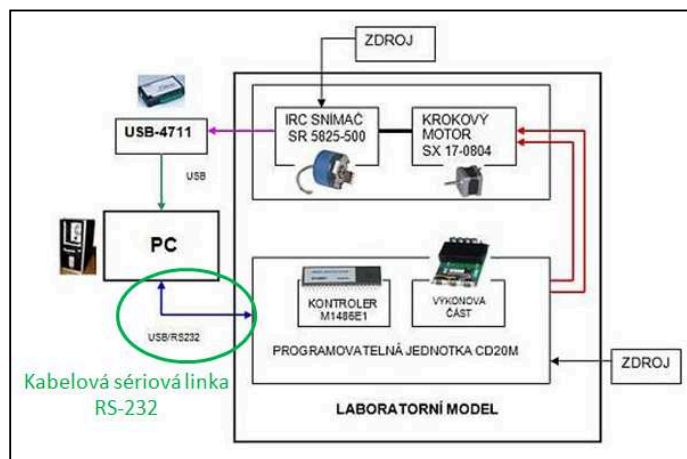


Obr. 38 Blokové schéma monitorovací úlohy

5.5 Nahrazení kabelové sériové linky RS-232

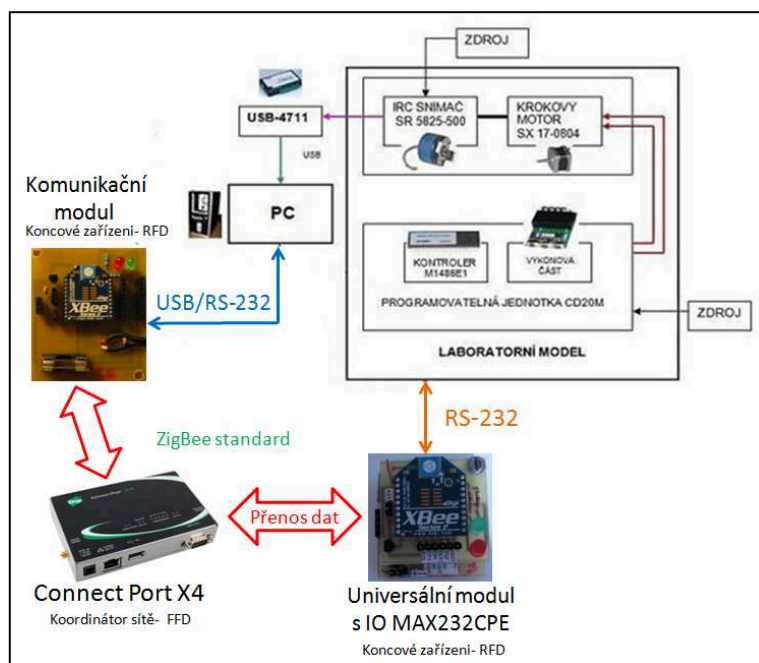
Poslední implementací produktů firmy Digi International a vytvořených univerzálních modulů spočívá v náhradě kabelové sériové linky RS-232 bezdrátovým přenosem dat. Jak bylo uvedeno v kapitole 3.4, XBee moduly podporují bezdrátový sériový přenos dat, který je možno konfigurovat dle potřeb uživatele.

Jako ukázková aplikace je použita laboratorní úloha pro měření statických charakteristik rotačního IRC snímače ESSA. Pro řízení natočení hřídele rotačního IRC snímače je použit krokový motor Microcon, který je napájen programovacím modulem s IO M1486E1. Povelů do této jednotky jsou odesílány prostřednictvím kabelové sériové linky RS-232 z počítače (viz. obr. 39).



Obr. 39 Původní blokové schéma laboratorní úlohy

Pro nahrazení kabelové sériové linky bylo třeba vytvořit univerzální modul s integrovaným obvodem MAX232CPE, který je možné připojit k laboratornímu modulu přes rozhraní RS-232. Propojení s počítačem je řešeno prostřednictvím komunikačního modulu. Inovované blokové schéma laboratorní úlohy představuje obr. 40.



Obr. 40 Inovované blokové schéma laboratorní úlohy

ZÁVĚR

V této diplomové práci byl nejprve zkoumán komunikační bezdrátový standard ZigBee, prostřednictvím kterého spolu komunikují produkty firmy Digi International. Díky použitému standardu, který byl blíže popsán v první kapitole, je možné s XBee moduly tvořit rozsáhlé bezdrátové sítě. V těchto sítích se prvky dělí na dvě skupiny a to plně funkční zařízení (FFD) a zařízení s redukovanou funkčností (RFD). Plně funkční zařízení může spravovat celou síť nebo se chovat jako směrovač. Redukované zařízení má omezená práva v síti, chová se jako koncové zařízení a může sbírat data ze svých vstupů, které poté zasílá dalším prvkům v síti. Data, která přicházejí na vstupy XBee modulů, je možné šířit v síti především dvěma způsoby a to buď unicast nebo broadcast. Dále je možné pomocí portů k tomu určených navázat bezdrátovou sériovou komunikaci mezi dvěma XBee moduly a tím propojovat různé periférie mezi sebou.

Mezi další produkty firmy Digi international, které se starají o správu celé ZigBee sítě, patří Connect Port X4 a Wall Router. Connect Port X4 zastupuje v ZigBee síti vždy roli koordinátora a je možné pomocí něj konfigurovat všechny prvky připojené do sítě. Také umožňuje sbírat a zpracovávat data z XBee modulů a šířit je do dalších komunikačních sítí. Wall Router se především používá pro rozšíření bezdrátové sítě. Má v sobě také zabudovaný světelný a tepelný senzor, z kterých se naměřená data dají číst a zpracovávat Connect Portem X4 v aplikaci naprogramovanou v jazyce Python.

Po seznámení s komunikačním standardem ZigBee a možností produktů firmy Digi International byly vytvořeny komunikační moduly a programová podpora v programu Control Web 6.1, která umožňuje bezdrátovou komunikaci mezi dvěma nebo více počítači. Dále byla vytvořena aplikace, pomocí níž je možné konfigurovat parametry XBee modulů prostřednictvím AT příkazů.

Na základě získaných znalostí a zkušeností byly navrženy tři laboratorní úlohy. První úloha se zabývá řízením simulované reálné soustavy, která je spuštěna v programu Control Web. Tato simulovaná reálná soustava je řízena naprogramovaným dvupolohovým regulátorem v univerzálním modulu s jednočipovým procesorem PIC. Univerzální modul je propojen s počítačem prostřednictvím jednotky DataLab IO4. Nastavení parametrů regulátoru je prováděno z druhého počítače prostřednictvím bezdrátové sítě. Ve druhé monitorovací úloze se poukazuje na široké užití komponent firmy Digi a bezdrátové sítě ZigBee v praktické domácnosti. V tomto případě může být univerzální modul s jednočipovým procesorem připojen na snímače různých logických

stavů v domácnosti a v programu Control Web mohou být tyto stavy vizualizovaný. K těmto úlohám byl naprogramován komunikační protokol, který zajišťuje bezproblémový přenos dat mezi jednotlivými zařízeními. V poslední úloze je kombinací univerzálních modulů s IO FT232RL a MAX232CPE možné nahradit drátovou sériovou linku RS-232 bezdrátovým přenosem dat prostřednictvím ZigBee sítě. Díky tomu je možné ovládat nebo řídit příslušný technologický proces ze vzdálenější operátorské stanice.

Pro realizaci laboratorních úloh, byly vytvořeny univerzální moduly. Ty jsou navrženy tak, aby je bylo možné implementovat do různých aplikací. Univerzální modul s jednočipovým procesorem PIC se dá použít nejen k monitorování logických stavů díky jeho digitálních vstupů/výstupů, ale také k řízení technologického procesu. Použití tohoto modulu je určen především algoritmem, který je do paměti jednočipového procesoru nahrán. Dále byl vytvořen komunikační modul s IO FT232RL, jenž umožňuje připojit XBee modul k PC jako virtuální sériový port. V posledním modulu byl použit integrovaný obvod MAX232CPE, který dovoluje připojení XBee modulu k rozhraní RS-232 a tím umožňuje bezdrátový přenos dat z tohoto komunikačního standardu.

Směr dalšího řešení je ve využití možností produktu firmy Digi International a to Connect Portu X4. Connect Port X4 umožňuje odesílat data z XBee modulů ZigBee sítě do další komunikační sítě. Z této sítě je možné data dále zpracovávat a vytvořit tak komplexní monitorovací systém. Další rozšíření této práce může spočívat ve vytvoření výkonové části k univerzálnímu modulu s jednočipovým procesorem a tím ovládat jiná elektrická zařízení, jako například krokové motory.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*. Praha: Nakladatelství BEN, 2003, 654 s. ISBN 80-7300-020-2.

BÍLÝ, R., CAGAŠ, P. *Control Web 2000. Průvodce systémem pro tvorbu a nasazení aplikací reálného času*. 1. Praha: Computer Press, 1999. 382 s. ISBN 80-7226-258-0.

BRADAČ, Z. *Bezdrátový komunikační standard ZigBee*. Automatizace [online]. 5.4 2005, 48, 4, [cit. 2011-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.automatizace.cz>>.

CONTROL WEB 6.1. *Manuál*. Alcor - Moravské přístroje, a.s. [online]. [cit. 2011-08-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.mii.cz>>.

ČERNÝ, V. *Správa prvků bezdrátové sítě*. Praha, 2009. 48 s. Diplomová práce. České vysoké učení technické Praha, Fakulta elektrotechnická, Katedra počítačů. Dostupný z WWW: <<http://dip.felk.cvut.cz/>>.

ČÍKA, P., KOTON, J., KŘIVÁNEK, V. *Standardní nízko rychlostní bezdrátové komunikace ZigBee*. Access server [online]. Vysoké učení technické v Brně: 18. 4. 2006 [cit. 2011-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz>>. ISSN 1214-9675.

Digi International. *Manuály k jednotlivým XBee modulům*. [online]. [cit. 2011-15-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.digi.com>>.

DOBEŠ, J., ŽALUD, V. *Moderní radiotechnika*. 1. Ben- technická literatura, 2006. 768 s. ISBN 80-7300-132-2.

FARANA, R., SMUTNÝ, L., VÍTEČEK A., VITEČKOVÁ, M. *Zpracování závěrečných textů z oblasti automatizace z oblasti automatizace a informatiky*. Včetně anglicko-českého slovníku automatizační techniky a řízení. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2004. 116 s. ISBN 80-248-0557-X.

FORSTER, J. *XBee Cookbook Issue 1.4 for Series 1 (Freescale) with 802.15.4* [online]. 2011. 38 s. Dostupný z: WWW: <<http://jsjf.demon.co.uk>>.

GALIA, J. *Využití krokového motoru při měření statických charakteristik snímačů*. Ostrava: VŠB-TUO, kat. ATR- 352, 2010. 50 s. Bakalářská práce.

HEBEL, M., BRICKER, G., HARRIS, D. *Getting Started with XBee RF Modules: A Tutorial for BASIC Stamp and Propeller Microcontrollers*. Version 1.0. Parallax INC [online]. 163 s. Dostupný z: WWW: <<http://www.parallax.com>>.

KEBO, V., LANDRYOVÁ, L., HOLUB, P. *Návrh procesních systémů v prostředí SCADA/MMI - CITECT*. Ostrava: VŠB-TUO 1996. 100 s. ISBN 80-7078-410-5.

KULHÁNEK, J. *Počítače a sítě*. Učební texty. Ostrava: VŠB-TUO, 2007. 1. 137 s.

MARCO WEIL [online]. *Sítě XBee*. 2009 [cit. 2011-17-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.macroweil.cz>>.

PALIVEC, P. *Hw.cz* [online]. 1. 2. 2011 [cit. 2011-16-04]. *Digi International, síť XBee a komunikace v pásmu 2,4 GHz*. Dostupný z WWW: <<http://www.hw.cz>>.

ROBENEK, J. *Hw.cz* [online]. 14. 10. 2009 [cit. 2011-18-04]. *XBee/XBee-PRO moduly Digi*. Dostupný z WWW: <<http://www.hw.cz>>.

RS-232 In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedis.org/wiki/RS-232>>.

SERVER REALNÝCH APLIKACÍ KATEDRY 352 [online]. Dostupný z WWW: <<http://352.lab.vsb.cz/>>.

SCHMID, D. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. 1. Praha: Europa-Sobotáles cz. s. r. o., 2005, 420 s. ISBN 80-86706-10-9.

ŠEDIVÝ, J. *Bezdrátový přenos*. Praha, 2010. 34 s. Bakalářská práce. České vysoké učení technické Praha, Fakulta elektrotechnická. Dostupný z WWW: <<http://support.dce.felk.cvut.cz>>.

ŠOFER, P. *Využití SCADA/MMI systému pro podporu laboratorních měření*. Ostrava: VŠB-TUO, kat. ATR- 352, 2008. 47 s. Bakalářská práce.

USB In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation. Dostupný z WWW: <<http://cs.wikipedis.org/wiki/USB>>.

VACEK, V. *Učebnice programování PIC*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2000, 143 s. ISBN 80-860-5687-2.

VOJÁČEK, A. *Hw.cz* [online]. Redakce HW serveru: 8. 6. 2005 [cit. 2011-04-11]. *ZigBee- novinka na poli bezdrátové komunikace*. Dostupný z WWW: <<http://www.hw.cz/>>.

XBee®/XBee-PRO® ZB OEM RF Modules. In *XBee®/XBee-PRO® ZB OEM RF Modules*. 1. Digi International. 2008. s. 99. Dostupný z WWW: <<http://www.digi.com>>.

ZATLOUKAL, M. *Návrh a realizace bezdrátového interface OBDII- XBEE*. Brno, 2010. 63 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Ústav radiotechniky. Dostupný z WWW: <<http://www.vutbr.cz>>.

ZigBee Alliance [online]. *ZigBee Alliance*. Dostupný z WWW: <<http://www.zigbee.org>>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A Diplom za účast na XLIX SESJI 2012 v Krakově

Příloha B Diplom za třetí místo na XLIX SESJI 2012 v Krakově

Příloha A Diplom za účast na XLIX SESJI 2012 v Krakově



Příloha B Diplom za třetí místo na XLIX SESJI 2012 v Krakově